

Cosmologia secolului XX

Jacques Merleau-Ponty



J. Merleau-Ponty între-
prinde în această mono-
grafie o sistematizare
— după criteriul epistemo-
logice — a tuturor studi-
ilor fundamentale de
cosmologie apărute în ul-
timele decenii, o tipologi-
zare metodologică a teo-
riilor și ipotezelor cosmo-
logice aptă să orienteze
analiza critică a perspec-
tivelor constituite pînă
acum în rezolvarea proble-
mei cosmologiei. Lucrarea
se distinge prin consec-

JACQUES MERLEAU-PONTY

Cosmologia secolului XX

Studiu epistemologic și istoric
al teoriilor cosmologice contemporane



EDITURA ȘTIINȚIFICĂ ȘI ENCICLOPEDICĂ

București, 1978

Într-un interval de numai câțiva ani, între 1917 și 1925, un fizician genial și un telescop gigantic, minuit de un astronom pe măsura lui, au adus filozofiei naturii primul o idee, celălalt o nouă viziune a Universului, una mai surprinzătoare și mai exaltantă decât cealaltă. Cosmologia modernă a luat naștere din această confluență, despre care ar fi puține de spus, în afara faptului că ea oferă un exemplu prețios pentru toți cei ce consideră că acțiunile omenesci, chiar și acelea pe care rațiunea este menită a le governa singură, sînt supuse hazardului.

În Germania aflată în plin război, Einstein gîndea, în 1917, că a ajuns la o etapă decisivă pe calea „regească” pe care o parcurgea aproape singur de cincisprezece ani. El crezu atunci că poate spune cum trebuie conceput Universul pentru ca fizica, pe care tot el o transformase căutînd s-o fundamenteze mai bine, să se poată prezenta fără ipoteze de prisos și fără contradicții. Aparent, el nu se preocupa prea mult de ceea ce se medita în observatoarele americane în legătură cu adevărata semnificație a aparențelor cerești, care nu erau atunci — nu încă — prea favorabile speculațiilor sale.

În acest timp, pe malurile Pacificului, astronomii scrutau cu perplexitate imagini slabe în care se ascundea încă secretul nebuloaselor spirale. Ei așteptau, pentru a da curs liber gîndurilor lor, montarea unui nou telescop, tot așa cum un colonel așteaptă artileria pentru a pune la încercare vitejia trupelor sale.

Nimic nu-i făcea să creadă că teoria relativității (despre care nu știau dealtfel multe) ar avea vreo legătură cu nebuloasele. Tradiția cea mai venerabilă a astronomiei pozitive este de a nu lua în considerație nici o idee (fie ea bazată pe cea mai riguroasă matematică) dacă nu este adecvată exact aparențelor bine descrise și măsurate. (Astfel, Hiparh, cu douăzeci și trei de secole mai înainte, preferase să măsoare ireproșabil, cu precizia ce-i era

accesibilă, precesia echinocțiilor, în loc să comită nebunia de a-și imagina Pământul rostogolindu-se în spațiu). Dealtfel, climatul strict pozitivist al științei americane se deosebea tot atât de mult de atmosfera metafizică din care izvorîse gândirea lui Einstein ca cerul Californiei de acela al bătrînei capitale din nord.

Totuși, fără ca cineva să bănuiască, cele două drumuri convergeau într-un punct încă îndepărtat pe care nimeni nu și-l imaginase, nici măcar foarte vag. Atunci cînd se contură cea mai neașteptată și mai surprinzătoare dintre trăsăturile sale, descoperitorii „regatului nebuloaselor” ezitară, așa cum ezită și Einstein în fața consecințelor ultime ale propriei sale revizuirii a conceptului de univers. Și într-un caz și în celălalt, se dezvăluia același adevăr, acela că Universul, nici prin geometria sa, nici prin structura metrică fără de care cunoașterea sa nu ar fi posibilă, nu este o formă imuabilă, o configurație statică.

Dealtfel, în orice punct s-ar fi produs, confluența, între ideea revizuită asupra lumii și imaginea sa transfigurată — nici așteptată, nici pregătită — părea să permită rațiunii să-și exercite un drept de la care trebuise să abdice pentru a se supune unuia din comandamentele cele mai riguroase ale catehismului științific: „Să nu vorbești despre Tot”; dreptul de a legifera asupra Universului, de a-i contura apriori înfățișarea, de a-i reconstrui edificiul, dincolo de vizibil, pornind de la elementele sale gândite și măsurate adecvat.

Această nouă aventură a rațiunii formează subiectul prezentei lucrări. Vom schița mai întii în linii mari noua înfățișare a Universului, care, dezvăluită încetul cu încetul, s-a precizat către anul 1930. Vom urmări apoi, pe îndelete, drumul sinuos, mersul pe dibuite al unei gândiri teoretice care era departe de a înțelege încotro se îndrepta, adevărata semnificație a ceea ce descoperea, și care remarcă în cele din urmă că ajunsese dincolo de ceea ce vizase Einstein inițial, fără să rezolve totuși problemele pe care el le pusese; gândire numai pe jumătate fidelă teoriei relativității; sprijinindu-se pe ecuațiile acesteia, dar introducînd ipoteze străine spiritului ei; incapabilă în cele din urmă să răspundă întrebărilor tradiționale pe care ea însăși le reînviase, dîndu-le un sens geometric precis, finitul și infinitul, începuturile lumii, eterna reîntoarcere.

Vom vedea așadar gândirea cosmologică, răspunzînd cu îndrăzneală acestor provocări iritante, eliberîndu-se de obstacolele sale și, regăsindu-și o nouă tinerețe, angajîndu-se în cutezătoare acțiuni speculative, cărora va trebui să le descriem mișcarea,

să le explorăm orizonturile filozofice, să le delimităm câștigul conceptual.

Vom vedea, de asemenea, cosmologia de inspirație strict relativistă angajându-se, după o îndelungată stagnare pe drumuri noi, nu mai puțin hazardate uneori, sub garanția liniștitoare a unei teorii fizice verificate.

Existența unei deveniri cosmice, a unei dimensiuni temporale distincte și orientate, la scara Universului observat, în același timp cu renașterea ipotezelor cosmogonice, se numără printre aspectele cele mai remarcabile ale lumii în noua sa înfățișare, ale gândirii cosmologice în noul său curs. Acestor probleme le este consacrată o parte întreagă a lucrării.

După multe speculații, cosmologia revine totdeauna la observația astronomică, care a constituit unul din izvoarele sale și care este primul ei punct de contact cu empiricul. De aceea vom încerca o confruntare generală a teoriilor cosmologice cu datele de observație cele mai recente care ne sînt accesibile, înainte de a trage în cele din urmă învățămintele filozofice ale cercetării noastre.

Partea întâi

ÎNTEMEIEREA COSMOLOGIEI MODERNE



Capitolul I

TRANSFIGURAREA APARENȚELOR COSMICE ÎN PRIMA TREIME A SECOLULUI AL XX-LEA

În răstimp de câțiva ani, între 1910 și 1930, chiar în perioada în care noțiunea de „atom” își schimba sensul, Universul astronomic a căpătat o fizionomie nouă, a suferit o adevărată transfigurare, nu mai puțin importantă decât cea care, la începutul secolului al XVII-lea, transformase Universul ptolemeic în Univers galileian. Cu toate că tabloul aparențelor cosmice s-a îmbogățit considerabil în ultimii treizeci de ani, noua înfățișare (noul *Gestalt*) nu s-a modificat în mod esențial. Ea formează încă decorul întregii gândiri cosmologice; trebuie deci s-o descriem mai întâi, fără a ne opri prea mult nici asupra detaliilor, nici asupra necunoscutelor, nici asupra etapelor descoperirii.

Cîteva mii de stele repartizate capricios în constelații imuabile, rotindu-se într-un singur bloc, formează „sfera stelelor fixe”, vizibilă, permanenta aparență a Universului, aceea pe care oricine o poate vedea, așa cum oamenii au văzut-o și au remarcat-o, probabil de cînd există oameni, în mod sigur de cînd ei știu să scrie. Pe acest fond stabil se conturează mii de fenomene variabile; acestea sînt mișcările obiectelor sistemului solar, de fapt foarte regulate sub o aparență dezordine și care au reprezentat timp de secole prima problemă a astronomiei, a cărei rezolvare reprezintă preludiul avîntului științei pozitive.

Dar, pe sfera stelelor fixe, există o figură bine vizibilă; înregistrată la timpul ei de mitologia greacă și care contrastează destul de frapant cu restul — Galaxia, aparență ce trebuia depășită de două ori pentru a putea realiza „adevărata” imagine a Universului, cel puțin așa cum o considerăm acum, în secolul al XX-lea. Căci o privire sumară asupra Căii Lactee conduce direct la una din întrebările centrale asupra Universului. Stelele se repartizează în mod bizar pe cer, prin strălucirile, culorile și pozițiile lor. Această

dezordine dă fiecărei părți a sferei fizionomia sa, și tocmai aceasta permite identificarea tuturor stelelor fără greutate, cu toată poziția lor variabilă în raport cu observatorul nocturn. Dar mai există un fapt straniu, și anume : nici un aranjament sistematic și regulat al stelelor sau al constelațiilor nu permite să se distingă pe sferă un punct, un cerc, o zonă, un sector remarcabil. La fel, pete mici de mărimi și culori diferite, răspândite la întâmplare pe o foaie de hîrtie vor schița poate constelații, dar nu vor trasa o curbă, nu vor separa dreapta de stînga, centrul de periferie. Pentru a repera geometric aștrii, astronomia se servește de poli și de ecuator, care nu depind decît de rotația aparentă a sferei și nu corespund nici unei particularități a structurii acesteia.

Fără a fi absolut izotropă, din cauza diversității populației sale stelare, sfera vizibilă nu prezintă totuși nici o veritabilă anizotropie, în afară de cea pe care i-o conferă tocmai Calea Lactee care conturează net și permanent un cerc mare, pe o zonă îngustă.

Or, depășind aparența lăptoasă a Galaxiei, organizînd în profunzime cîmpul imaginii cosmice, astronomia stelară, de la Galilei — și mai ales de la Herschel — la Kapteyn și Shapley, transformase anizotropia vizibilă prezentată de Galaxie într-un fapt cosmic fundamental, reducînd dimpotrivă la rang de simplă aparență locală relativă izotropie a sferei stelelor vizibile. Grație faimoasei sale lunete, Galilei văzuse primul Calea Lactee descompunîndu-se în miriade de stele. Herschel, un secol și jumătate mai tîrziu, întreprinsese sondarea sistematică a amănunțimii a lumii stelare. Marile telescoape, fotografia, puternicele metode ale analizei statistice de care dispuneau astronomii la începutul secolului al XX-lea aduseseră, către 1920, dovada că Galaxia este un imens roi de stele (numărul lor este estimat la o mie de miliarde)¹, de forma unui disc mai aplatizat la margine decît la centru, din care face parte și Soarele, ocupînd un loc oarecare, sensibil mai îndepărtat de centru decît de periferie, periferie delimitată de altfel aproximativ. Universul stelar își pierduse deci acea sfericitate pe care tradiția, pe baza aparențelor imediate, i-o atribuisese și, odată cu ea, simplitatea sa geometrică și rațională.

Pentru filozofia naturii general admisă la 1900, Universul nu putea fi identificat cu spațiul nici spațiul cu altceva decît cu spațiul lui Euclid, Newton și Kant, infinit în cele trei dimensiuni ale sale și înzestrat cu o structură metrică imuabilă, independentă de conținutul său. Or, lumea stelară, oricît de imensă ar fi fost ea,

¹ Mai exact, se consideră că numărul stelelor din Galaxie este de ordinul a 150 de miliarde. — N.T.

nu ocupa decît un domeniu, ale cărui limite astronomia le cunoştea de acum. Insulă solitară în infinit? Insulă printre alte insule?

*Lactee soră luminoasă
Cu gîrlele din Canaan
Cu pielea albă de mireasă
Morţi valul tău într-un elan
Suim spre altă nebuloasă...¹*

Poate că Apollinaire deţinea de la vreun astronom această imagine care dă o amploare cosmică tristei derive a celui „neiubit”. În 1909, în orice caz, răspunsul nu fusese obţinut sub cupolele grele ale observatoarelor; dar presupunerea că nebuloasele, cel puţin cele spirale, erau în realitate alte galaxii devenea insistentă; ipoteza intra astfel, sau reentra, în domeniul discuţiilor tehnice dintre astronomi.

Această veche ipoteză, propusă încă de Kant, fusese reînviată la sfîrşitul secolului de ansamblul progreselor de observaţie şi mai ales de descoperirea unei supernove în marea spirală din Andromeda, M.31, binecunoscută tuturor acelor care posedă cît de cît cunoştinţe de astronomie, singura dintre spirale vizibilă (destul de dificil) cu ochiul liber. Din acest moment, dezbaterea nu va înceta să se desfăşoare şi să se amplifice. Căci, dacă ipoteza „universurilor-insule” găsea printre astronomi apărători convinşi ca Lundmark şi Curtis, ea avea şi adversari hotărîţi, ca Shapley, care în 1920, considera încă toate nebuloasele ca obiecte aparţinînd Galaxiei, ale cărei dimensiuni fuseseră considerabil lărgite de observaţiile sale.

Ne putem face o idee asupra confuziei care domnea în privinţa acestui subiect în primii douăzeci de ani ai secolului, remarcînd că astronomul suedez Charlier propusese în 1908 un model de univers (de fapt prima construcţie teoretică ce merită acest nume) bazat pe ipoteza dublă că: 1) spiralele observate sînt probabil interioare Galaxiei şi nu alte galaxii; 2) Universul este totuşi format din sisteme scufundate unul în altul, un sistem de ordinul n avînd drept elemente sisteme de ordinul $n-1$: stele, galaxii, galaxii de galaxii... Charlier afirma deci existenţa universurilor-insule, îndoindu-se totodată că acestea ar putea fi efectiv observate².

¹ G. APOLLINAIRE, *Serieri alese*, Ed. Univers, Bucureşti, 1971, p. 37.

² C.V.L. CHARLIER, *Wie eine unendliche Welt aufgebaut sein kann*, Arkiv för Matematik, Astronomi och Fysik, 4, 24, 1908.

Edwin Powell Hubble, un nou venit în lumea astronomilor, a fost acela care, avînd norocul de a putea dispune, la Mount Wilson, de cel mai mare telescop construit pînă la acea dată, a putut aduce la capătul unor cercetări îndelungate și perseverente, dovada de necontestat care era așteptată de douăzeci de ani. Spre sfîrșitul anului 1923, el a identificat pe o serie de fotografii ale spiralei din Andromeda, după sute de imagini sugestive dar insuficient de convingătoare, imaginea sigură a unei stele de tip binecunoscut în Galaxie și în Norii lui Magellan : o gigantă din clasa cepheidelor, stele cu variații periodice foarte regulate ale strălucirii și a căror perioadă indică cu mare precizie luminozitatea intrinsecă. Această stea de magnitudine absolută¹ egală cu -4 , redusă din cauza distanței la magnitudinea $+18$, se găsea desigur la mai multe sute de mii de ani-lumină de Soare : marea spirală din Andromeda și cu atît mai mult toate celelalte, mult mai mici în aparență, erau definitiv aruncate în afara frontierelor Galaxiei. Începea răvășirea decorului cosmic, iar privirii i se deschidea „regatul nebuloaselor”².

Se spune că Herschel, dotat cu o vedere excepțional de pătrunzătoare și capabil să-și construiască cu mîinile sale cel mai bun telescop al timpului, jurase că a văzut pe bolta cerească ceea ce încă nici un om nu văzuse pînă atunci ; ceea ce a urmat a dovedit că nu vorbise în van. Dar Hubble putea să constate în 1923, că aproape totul rămînea sub semnul întrebării. Cercetările sale au continuat fără întrerupere pînă la moarte, în 1953. Principalii astronomi asociați cercetărilor sale au fost mai întîi Slipher, care îi urmasse în 1916 lui Lowell la conducerea Observatorului din Flagstaff (Arizona) și care a rămas pînă în 1928 singurul specialist al lui Hubble în spectrograme de galaxii și în măsurători ale vitezelor lor radiale ; apoi ștafeta a fost preluată cu un nou spectrograf, la Mount Wilson, de Humason, după ce acesta ocupase un post modest în acest observator. Telescopul Hooker, cu deschiderea de 2,54 metri, a fost mult timp principalul instrument al lui Hubble, care, la sfîrșitul vieții sale a putut dispune de marile instrumente de la Mount Palomar, telescopul Hale de 5 metri deschidere și telescopul de tip Schmidt cu cîmp mare și deschiderea de 1,20 metri.

Oricîte obiecții s-au putut aduce metodelor sale, ba chiar concepției sale, succesul dovedește că Hubble era omul potrivit în acel loc remarcabil. Nu numai prin acea elegantă stăpînire de sine,

¹ Vezi cap. XI.

² Aluzie la cartea lui E.P. HUBBLE, *The Realm of the Nebulae*, Oxford, 1936. — N.R.

prin aceea siguranță liniștită și fără emfază care emană din toate paginile unei cărți pe drept cuvânt celebre¹, dar și printr-o adeziune fără rezerve, activă pînă la detaliu, la postulatul uniformității și al regularității, ba chiar al simplității existențelor cosmice. Fără această riguroasă disciplină a gîndirii, fără aceste norme stricte de clasificare și măsurare (la orice scară și în orice domeniu, un obiect mediu tipic — stea, galaxie, roi de galaxii — este postulat, cercetat, etalonat, apoi plasat ca jalon pe drumul care duce pînă la frontierele vizibilului), ar fi putut oare Hubble, într-o jumătate de viață omenească, ajutat de o mînă de astronomi, să pună măcar piciorul în acest imens regat, ale cărui hotare erau doar ghicite?

Metodele sale au fost serios contestate și marea lui operă conține erori serioase, datorate în parte unei încrederi excesive în docilitatea naturii față de legile rațiunii și față de evaluările astronomiei. Dar ceea ce este minunat este că în esență Hubble a reușit, că înfățișarea Universului pe care el a conturat-o treptat este încă, și fără îndoială pentru mult timp, cea pe care o vedem de fapt.

Pînă la un anumit punct această înfățișare este „clasică”; ea este conform așteptărilor tuturor acelor care, atașați postulatului Universului omogen și cu simetrie sferică, cum l-ar fi vrut Giordano Bruno, nu erau satisfăcuți de imperfecta simetrie a ansamblului stelar. Ceea ce dovedeau de fapt cercetările lui Hubble era că:

1) Obiectul „galaxie” poate fi considerat în mod rezonabil drept unitatea cosmică, agregatul elementar de materie-energie și că Universul observat este identificabil cu sistemul galaxiilor.

2) Acest sistem prezintă pe sfera cerească aparențe izotrope.

3) Acest sistem este uniform distribuit în spațiu, este pretutindeni identic cu sine însuși, nu are centru, sau mai curînd, așa cum pretindeau Nicolaus Cusanus și Blaise Pascal, că centrul său este pretutindeni și circumferința nicăieri², și că omul ocupă o poziție oarecare, echivalentă cu oricare alta.

4) Omogeneitatea geometrică nu exclude o mare diversitate, observabilă în formele și dimensiunile galaxiilor, în conținutul lor stelar, sau, mai general, în conținutul lor material. Dar, sub această diversitate, se poate conchide în mod rezonabil existența unei omogeneități calitative de un înalt grad, mai ales la nivelul speciilor atomice, pretutindeni aceleași după cît se pare, și printre care cea mai simplă, hidrogenul, predomină net.

¹ E.P. HUBBLE, *op. cit.*

² Aceasta nu implică în mod necesar că el este infinit. Vezi mai departe, p. 49.

Pînă la acest punct deci, descoperirea Universului metagalactic lua mai curînd sensul restaurării unei viziuni cosmice vremelnice tulburată, sau lăsată în umbră de explorarea Universului stelar.

Dar descoperirea regatului nebuloaselor îi rezerva totodată lui Hubble cea mai mare surpriză pe care contemplarea Universului o produsese vreodată acestui bătrîn astronom care este *homo sapiens*; căci :

5) Sistemul galaxiilor prezintă aparența unei expansiuni uniforme și izotrope care, într-o primă aproximație, este guvernată de o lege extrem de simplă : fiecare galaxie pare că se îndepărtează de Pămînt cu o viteză proporțională cu distanța. Cel puțin aceasta pare a fi indicația dată de proprietățile spectroscopice ale luminii provenite de la galaxii.

Nimic din tot trecutul astronomiei sau din contextul fizicii clasice nu permitea să se prevadă un fenomen de acest tip și de o asemenea amploare ; totul, dimpotrivă, conducea la negarea lui ; existența acestui fenomen, confirmarea sa în pofida a orice și interpretarea sa teoretică, caracterizează una din temele dominante ale cosmologiei moderne și, în consecință, ale acestei lucrări.

Istoricul acestei descoperiri este el însuși o dovadă a extraordinarei miopii pe care o filozofie milenară a naturii o poate provoca privirilor celor mai pătrunzătoare, spiritelor celor mai clarvăzătoare ; a măsurii în care postulatul permanenței fundamentale a Cosmosului, al persistenței formei sale dincolo de agitația locală, era încă activ în gîndirea fizică a unei epoci în care toate postulatele clasice păreau că se prăbușesc.

Dacă, prin absurd, ar fi existat în secolul al XX-lea un autor comic care să izbutească să trateze știința cu aceeași dezinvoltură cu care Aristofan îl trata pe Socrate, descoperirea deplasării spectrului nebuloaselor spre roșu (*red-shift*)¹ i-ar putea furniza materialul unui scheci cu tema : Cum face un astronom să nu vadă ceea ce descoperă ?

Neștiind încă dacă nebuloasele spirale erau situate sau nu în afara Galaxiei, astronomia, cu tradiționala sa fidelitate pentru aparențe, începuse de multă vreme studiul descriptiv al acestora. Aplicarea procedurii spectroscopice pentru măsurarea vitezelor lor radiale — procedeu deja clasic la începutul secolului în astronomia stelară — era o acțiune delicată din punct de vedere tehnic, dat fiind faptul că imaginile nebuloaselor nu sînt punctuale. Totuși, în 1912, obstacolul a fost depășit și Slipher a putut să comu-

¹ Deseori se folosește termenul englez *red-shift* pentru deplasarea spre roșu a liniilor spectrale. — N.T.

nice pentru nebuloasa din Andromeda (din nou ea) o deplasare spectrală spre *violet* corespunzătoare unei viteze de *apropiere* de trei sute de kilometri pe secundă. În 1914 fuseseră măsurate treisprezece viteze radiale, în 1921 numărul lor ajunsese la douăzeci și nouă. Or, pe măsură ce rezultatele se acumula, se vedea cum deplasările spectrale spre *roșu* (indicînd o *îndepărtare*) predominau din ce în ce mai mult asupra deplasărilor spre *violet* și deveneau din ce în ce mai mari în valoare absolută.

Acest fapt se explică foarte simplu: primele măsurători se refereau la galaxiile cele mai apropiate; or, în vecinătatea Galaxiei expansiunea relativă este slabă și efectul său este mascat de mișcări locale diverse și întîmplătoare (mai ales rotația Galaxiei care, la acea dată, nu era încă cunoscută); extinse la galaxii din ce în ce mai îndepărtate observațiile găseau mișcări de expansiune din ce în ce mai mari, ajungînd să depășească complet în cele din urmă mișcările locale, care nu depășesc cîteva sute de kilometri pe secundă.

Dar totul, la acea epocă — și mai ales precedentul astronomiei stelare — contribuia la ascunderea a ceea ce trebuia înțeles. Într-adevăr, unul din marile succese ale acestei științe fusese determinarea din ce în ce mai precisă, prin măsurători totdeauna convergente, a *apex*-ului, adică a punctului de pe sfera cerească care indică direcția de mișcare a Soarelui în raport cu mediul stelar înconjurător. Într-adevăr, dacă se presupune că mișcările relative ale astrilor care compun acest mediu înconjurător se compensează și se anulează reciproc, altfel spus că acest mediu înconjurător este în medie în repaus, din măsurătorile vitezelor radiale făcute de către observatorul terestru va apărea un reziduu care va fi opusul vitezei proprii a Soarelui în raport cu mediul înconjurător considerat în ansamblul său; ne putem aștepta ca mărinđ numărul de măsurători, determinarea acestei mărimi să devină din ce în ce mai precisă, fără să apară vreo variație sistematică a rezultatelor; or tocmai acest fapt se constată.

Deci cu ipoteza naturală, dar în speță cu totul inadecvată, a unui repaus mediu al nebuloaselor, încercau astronomii din deceniul al treilea, conduși de analogia înșelătoare între lumea galactică și lumea metagalactică, să interpreteze distribuția vitezelor nebuloaselor. Renunțarea la această analogie și la această ipoteză era cu atît mai dificilă pentru ei, cu cît acestea erau de fapt asociate postulatului mai profund și mai implicit, al unui repaus și a unei persistențe cosmice fundamentale. Wirtz a fost primul care, în 1918, a bănuir existența unui efect sistematic, pe care a fost tentat să-l evalueze numeric, fără a-i căuta cauza și fără a renunța

la analogia stelară. Astfel, fenomenul cel mai grandios al cerului a apărut, în calculele astronomilor, mai întâi în negativ, ca să spunem așa, ca un efect stinjenitor pe care-l măsoară pentru a te debărâsa mai ușor de el. (Tot așa Messier, cu mai bine de un secol înainte, întocmise catalogul care urma să servească drept bază explorării Universului metagalactic... pentru a permite căutătorilor de comete să evite confuziile).

Cițiva ani mai târziu, Wirtz a înțeles la rîndul său, după Eddington¹ și Weyl², adevăratul sens al deplasării spre roșu a nebuloaselor, ca un efect care crește cu distanța și căruia teoria relativității avea să-i dea explicația. Dar împrejurările nu i-au fost favorabile; neavînd după cît se pare cunoștință de memoriul lui Friedman din 1922, el a încercat, ca și Eddington, să explice deplasarea spre roșu prin cosmologia lui de Sitter; dar la acea dată structura acestui model de univers era încă destul de obscură. Numai Weyl o înțelese perfect, fără a se face la rîndul lui înțeles, iar lui Wirtz îi lipsea tocmai ceea ce Hubble era pe cale de a construi: o scară a distanțelor extragalactice. Eforturile sale n-au ajuns la nici un rezultat în cele din urmă și observatorii au devansat teoria.

La Mount Wilson, Hubble și Humason au lucrat încă cinci ani, primul la etalonarea distanțelor intergalactice, al doilea la măsurarea vitezelor radiale. În 1929, pe baza a patruzeci și șase de viteze radiale și optsprezece distanțe măsurate, ei au publicat relația dintre viteză și distanță care le poartă numele: problema expansiunii Universului era pusă de către astronomia de observație. La aceeași dată, Robertson încheia clarificarea principiilor cosmologiei relativiste.

Chiar și într-o perspectivă panoramică așa cum este cea de față, fiecare din cele cinci puncte ale tabloului nostru cosmic cere cel puțin cîteva comentarii și impune unele rezerve. Punctul 2 — izotropia lumii metagalactice — este probabil cel mai sigur, în orice caz cel al cărui sens este cel mai clar și cel mai direct traducibil în date de observație. Trebuie să evităm totuși cîteva neînțelegeri: de fapt, înainte de toate, distribuția galaxiilor pe bolta cerească nu este izotropă; se observă mult mai puține galaxii la latitudini galactice joase, adică în planul Căii Lactee și în vecinătatea sa. Dar, evident, aceasta se datorește particularităților „locale” ale observatorului terestru. Fiind situat în interiorul Galaxiei, această formațiune care nu este izotropă îi maschează în parte „lumea exterioară”, pentru că ea conține în spațiul interstelar,

¹ *Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge, 1923, ed. a V-a, 1954, p. 162.

² Vezi mai departe p.59.

o materie difuză mai mult sau mai puțin densă care absoarbe în parte lumina de proveniență îndepărtată.

Lăsînd la o parte această anizotropie de circumstanță, a cărei interpretare nu a produs niciodată vreo obiecție, observația metagalactică nu a evidențiat pînă acum nici o direcție, regiune sau arie remarcabilă prin particularitățile populării sale în galaxii. S-a crezut de mai multe ori că s-au detectat diferențe semnificative între o regiune întinsă și alta, dar diferența nu a fost niciodată confirmată dincolo de o anumită magnitudine. Dacă anumite regiuni de pe bolta cerească sînt mai bogate în galaxii, aceasta se datorește prezenței unor mari roiuri „apropiate” care reprezintă oarecum în lumea nebuloaselor ceea ce reprezintă Pleiadele sau Părul Berenicei în lumea stelelor.

Pe de altă parte, distribuția galaxiilor este departe de a fi strict uniformă. Pe clișeele obținute cu ajutorul marilor telescoape, galaxiile sînt observate de obicei grupate în roiuri. Hubble credea că aceste roiuri se detașează pe fondul uniform al „cîmpului general”. Metodele recente de numărare, mai eficace, aplicate unor date de observație mai bogate arată că gruparea în roiuri este un fenomen atît de obișnuit încît ajungem să ne îndoim chiar de existența unui „cîmp general”¹. Dar aceste neregularități nu se încadrează în nici un efect sistematic. De mai multe ori a fost propusă ipoteza că ar putea exista roiuri de roiuri, grupări de galaxii de ordin superior. Pînă acum numărările nu au oferit nici o bază statistică acestei presupunerii. După patruzeci de ani de explorare a Universului metagalactic, izotropia aparențelor sistemului de galaxii poate fi considerată ca un fapt stabilit.

Generalitatea grupării galaxiilor în roiuri ne-ar putea face să ne îndoim de punctul 1, care face din galaxie un fel de atom cosmic. Firește, nimeni nu se îndoiește (ținînd cont de anumite efecte posibile de ecranare locală cauzată de către o materie intergalactică, firește foarte rarefiată, dar în mod sigur prezentă) că roiurile de galaxii sînt grupări fizice și nu simple aparențe. Dimensiunile lor sînt însă foarte diferite și coerența lor este și mai puțin sigură. Unii văd în ele structuri cu echilibru stabil, iar alții forme dinamice instabile, pe cale de dispersare rapidă în unele cazuri.

¹ Aceasta a fost concluzia cea mai netă și cea mai surprinzătoare a primei dintre marile numărări de galaxii întreprinse după moartea lui Hubble, pe o colecție de clișee a Observatorului Lick. C.D. SHANE, C.A. WIRTANEN, *The Distribution of Extragalactic Nebulae*, *Astronomical Journal*, 59, 8, 1954, pp. 285—304. Cercetările ulterioare, cu telescopul Schmidt de la Mount Palomar, au confirmat această concluzie.



În schimb, observația locală dovedește indiscutabil că galaxiile sînt unități fizice bine delimitate, structurate interior de forțele fizice cunoscute, electromagnetice și mecanice. A face din galaxie obiectul cosmic de bază, este deci cel puțin o ipoteză de lucru rezonabilă, cu toate că fără îndoială, obiectul galaxie nu poate fi definit chiar atît de strict cum credea Hubble în ceea ce privește dimensiunile, masa, strălucirea sa, și cu toate că el suferă probabil un proces de evoluție relativ rapid.

De la punctul 2 se trece într-un mod destul de natural la punctul 3, omogeneitatea în spațiu a sistemului de galaxii. Aceasta nu înseamnă că o distribuție eterogenă de materie nu poate să se prezinte sub aparențe izotrope. Ar fi posibil ca densitatea galaxiilor să scadă sau să crească în jurul observatorului terestru prin straturi sferice succesive, dar atunci ar trebui să i se confere acestui observator o poziție unică, centrală, ceea ce repugnă gîndirii științifice moderne, care consideră pe bună dreptate antropocentrismul ca o ipoteză naivă și arbitrară, proiecție asupra Universului a egocentrismului infantil sau delirant. Odată înlăturată lumea sferică a anticilor, izotropia aparențelor cerești pe care omul o vede — așa cum au înțeles-o sau au presimțit-o Nicolaus Cusanus și Giordano Bruno — implică omogeneitatea conținutului spațiului, care la rîndul său antrenează izotropia aparențelor pentru *orice observator*. Acest triplu caracter al Cosmosului este postulat de către cosmologia teoretică modernă, pe baza astronomiei marilor distanțe, sub numele de *principiul cosmologic*.

Noțiunea de omogeneitate este aparent simplă, chiar evidentă, dacă este luată în sens geometric : o distribuție de materie-energie va fi numită omogenă dacă o unitate de volum aleasă oriunde în spațiu conține totdeauna aceeași cantitate. Totuși, fără să anticipăm ceea ce vom spune la examinarea teoriilor cosmologice, cîteva comentarii asupra sensului și semnificației punctului 3 sînt chiar de pe acum indispensabile, căci simplitatea conceptului de omogeneitate nu este decît aparentă. Acestui concept îi sînt implicate diferite probleme teoretice și noi nu o vom evoca pentru moment decît pe cea mai importantă : definiția omogeneității Universului este inseparabilă de o ipoteză asupra timpului, căci cosmologia nu poate gîndi Universul decît în *spațiu-timp* pentru o mulțime de motive și mai întii pentru acela, incontestabil, că astronomia modernă îl *vede* în spațiu-timp și nu în spațiu (lumina care ne parvine de la galaxiile cele mai îndepărtate le-a părăsit de mai multe miliarde de ani).

Pe de altă parte, punctul 3 nu poate conta decît ca o aproximație, căreia este important să-i specificăm, chiar grosier, ordinul de

mărime. Observația „locală”, aceea asupra Galaxiei și asupra galaxiilor apropiate, ale căror detalii de structură pot fi cunoscute în mod satisfăcător, constată o distribuție a materiei extrem de neregulată : nu numai că există un contrast frapant între densitățile mari ale stelelor și starea de rarefiere a materiei interstelare (atît de puțin densă încît existența ei a rămas în stadiul de ipoteză pînă în secolul al XX-lea), dar acest contrast se regăsește și la o altă scară, între relativa condensare a materiei în interiorul galaxiilor, și vidul evasiabsolut al spațiilor intergalactice ; existența roiurilor de galaxii arată că eterogeneitatea se regăsește la o scară încă și mai mare. Dacă există o scară a omogeneității, ea este deci enormă¹.

Totuși, cea mai mare parte a cosmologilor sînt dispuși să admită postulatul omogeneității, pentru că, deși o ipoteză poate grosieră, ea nu este, după cît se pare, complet falsă ; pentru a-l înlătura ar fi necesară dovada unei dispunerii sistematice a neregularităților, lucru pe care nimic nu-l indică în starea actuală a observațiilor care, dimpotrivă, așa cum s-a spus, sugerează ideea unor fluctuații foarte mari de densitate, repartizate însă în mod întîmplător.

Punctul 4, referitor la omogeneitatea *calitativă* a Universului fizic, nu poate fi exprimat decît foarte vag și de aceea poate suscita mai multe obiecții. Iată cum ar putea fi precizat și justificat : prin omogeneitate calitativă vom înțelege uniformitatea conținutului de materie-energie, a structurilor nucleare, chimice, stelare galactice, ca și cea a secvențelor și proceselor evolutive. Spune oare observația ceva net și univoc în legătură cu aceasta ? Răspunsul desigur nu este atît de ușor ca în cazul omogeneității geometrice și privirii i se oferă contraste uimitoare, pe măsură ce devine mai pătrunzătoare.

Pe de o parte, este neîndoielnic că progresele instrumentelor astronomice nu duc numai la îmbogățirea numerică a tabloului cosmic, dar fac ca în cîmpul vizibilului să apară fără încetare obiecte de tip nou, stele gigante sau stele foarte mici, foarte fierbinți sau foarte reci, hiperdense sau incredibil de rarefiate, aștri variabili ale căror capricii sfidează orice descriere ordonată, nori cosmici de toate mărimile și de toate compozițiile ; în ceea ce privește morfologia galaxiilor, clasificarea trebuie îmbunătățită fără încetare. Pe de altă parte, dinamica, în sens larg, a lumii astronomice se dove-

¹ Diametrul celor mai apropiate roți mari de galaxii este de ordinul a 20 de milioane de ani-lumină, în timp ce Pămîntul se află situat la o distanță de opt minute-lumină de Soare, iar Soarele la douăzeci sau douăzeci și cinci de mii de ani-lumină de centrul Galaxiei.

dește de o extraordinară varietate. Astrofizica nu este numai aplicarea la studiul astrilor a fizicii cunoscute; este vorba aici, evident, de o altă fizică, în care legile fundamentale se aplică în condiții complet diferite de cele existente în laborator. Exemplul cel mai izbitor este cel al *plasmei*, marea descoperire a astrofizicii contemporane. Aceste fluide abundă în Univers; datorită ionizării, proprietățile lor sînt atît de diferite de cele ale fluidelor a căror structură și mișcare este descrisă, nu fără dificultăți, de către hidrodinamica clasică, încît este necesară construirea unei teorii noi pentru a explica fenomene care se produc sau își au sursa în această plasmă, cum sînt radiațiile cosmice sau emisiunile radio-electrice, și care sînt încă departe de a fi cunoscute și înțelese în întregime. Oricît de sprintenă ar fi imaginația astrofizicienilor și de pătrunzătoare matematica lor, sute de enigme își așteaptă rezolvarea: stadiile ultime ale evoluției stelare, originea formei atît de cunoscute și atît de puțin explicate a nebuloaselor spirale, adevărata structură a nucleelor galactice, în care se bănuiesc fenomene grandioase care urmează a fi descrise și înțelese. Atîtea necunoscute ne fac să credem că încă nici pe departe nu s-au descoperit toate modurile de combinare a materiei cu ea însăși, că, după cunoscuta expresie a lui Pascal, imaginația obosește mai curînd de a concepe decît natura de a furniza. Aparenta omogeneitate a Universului n-ar fi deci decît o consecință a miopiei noastre?

Un răspuns afirmativ ar fi hazardat. Căci teza omogeneității calitative își găsește în mare măsură justificarea în tabloul aparențelor cosmice. Dacă este efectiv imposibil să știm ce fel de existențe, și în ce mod constituite, se ascund într-o galaxie îndepărtată, este în orice caz plauzibil să presupunem că în esență și în cea mai mare parte, ele sînt asemănătoare celor pe care le cunoaștem sau care ne sînt în mod virtual accesibile în vecinătatea noastră; la aceasta conduce un lanț de extrapolări succesive ale cărui extremități par foarte îndepărtate, fiecare verigă fiind însă solid legată de precedentă.

Astfel, după multe erori celebre, lucrurile sînt acum clare: nici în Soare, nici în nenumăratele stele din jurul său care îi seamănă sau nu îi seamănă, nu se află alți atomi decît cei găsiți pe Pămînt. Heliul nu își merită numele: îl respirăm; nebuliul nu era decît un miraj, nimic altceva decît oxigen care radiază într-un anumit mod, „interzis”, în laborator, dar posibil în Univers; coroaniul din coroana solară este un complex de atomi metalici. Nouăzeci și doi de atomi, două sute treizeci și opt socotind și izotopii, totul dissociabil într-un mic număr de particule elementare stabile, pe care se bazează procesele nucleare cele mai complicate și mai

violente, reprezintă în cele din urmă destul de puțin pentru a popula chiar și numai cele o sută cincizeci de miliarde de stele care formează Galaxia noastră.

Ce-i drept, Galaxia noastră reprezintă puțin în comparație cu Universul; dar fără îndoială compoziția stelară a galaxiilor „apropiate”, și cu atât mai mult compoziția lor atomică, diferă puțin, sau deloc, de cea a Galaxiei; din aproape în aproape, această asemănare este însoțită de datele constante ale analizei fotometrice și spectrale; deși imprecizia acesteia crește cu distanța, analiza lasă totuși intacte anumite trăsături vizibile, pînă la limita extremă. Astfel, celebrele linii H și K ale lui Fraunhofer, atât de nete în spectrul solar, sau linia de emisie 3727 Å a oxigenului, a cărei origine atomică este perfect cunoscută, și care servesc pentru măsurarea *deplasării spre roșu* a galaxiilor îndepărtate atestă că, cu toată nepuizabila varietate a naturii, cel puțin elementele calciu și oxigen înrudesc modestele noastre oase cu acești sori foarte îndepărtați. Între ei și noi, astronomia n-a găsit însă nici un loc despre care să poată spune: de aici începe o altă materie.

Noțiunea de *abundență cosmică*¹ a elementelor trebuie deci luată în sens deplin. La prima vedere pare să fie vorba mai ales de o convenție: definirea unui amestec ideal, în care, plecînd de la o observație foarte limitată ca întindere, fiecăruia din elementele atomice îi este atribuită o proporție definită. Pămîntul, meteoriții, planetele, Soarele, norii interstelari apropiați sînt dovezi neconcludente și puțin reprezentative pentru a justifica cuvîntul „cosmic”. Totuși, deși ridică rezerve și îndoieli, acest concept în cele din urmă nu este contestat în esența sa. Nimeni nu consideră ca simplu efect al unui hazard local aspectul curbei abundențelor și detaliile sale caracteristice. Or, o trăsătură deosebită a acestui tablou se impune de la prima vedere: extraordinara preponderență a hidrogenului, care reprezintă singur, ca masă, mai mult de optzeci la sută din „amestecul cosmic”. Or hidrogenul este, așa cum știe oricine, elementul numărul unu al clasificării periodice.

Este adevărat că punctul de vedere al compoziției chimice nu este singurul sub care poate fi abordată problema și că s-ar putea găsi și altele care ar fi mai puțin favorabile tezei uniformității. Dar concluziile nu ar fi chiar atât de diferite dacă s-ar alege de exemplu, ca criteriu al omogeneității, compoziția stelară a galaxiilor. Ținînd seama de tipurile de populații pe care le distinge astrofizica, însăși coerența conceptelor și rezultatelor astronomiei mari-

¹ A. DAUVILLIER, *Cosmologie et Chimie*, P.U.F., Paris, 1956, pp. 27—132.

lor distanțe (această coerență de care Hubble era atât de mândru) este suficientă ca dovadă a unui înalt grad de omogeneitate.

Rezultă că teza omogeneității pare să se adevărească la un nivel oarecum superior, diversitatea fiind locală, ceea ce răstoarnă ordinea valorilor general admisă la scara fenomenelor umane, unde originalitatea în natură este inseparabil legată de diferențiere.

Aceasta nu înseamnă că astronomii și astrofizicienii nu sînt, la rîndul lor, seduși și fascinați, asemenea entomologilor și etnologilor, de surprizele diversității, că nu simt plictisul uniformității, aspectul searbăd al Universului omogeneizat, *smoothed out*¹. Însăși Robertson o mărturisește, Robertson care a dus teoria Universului uniform la perfecțiunea sa matematică și conceptuală. Ipotezele cosmologiei, constată el, cu o nuanță de umor melancolic, privează bolta cerească de ceea ce reprezintă farmecul său atât pentru astronom cît și pentru poet².

Există totuși în postulatul uniformității un adevăr de ordin superior, într-un sens pe care îl vom înțelege poate mai bine folosind o analogie împrumutată de la Eddington, care, într-un alt context, a folosit-o din plin. În ochii alpinistului și ai iubitorului de peisaje, Pămîntul nu este o figură geometrică simplă și regulată; dacă ar fi astfel și-ar pierde în ochii lor tot farmecul său caracteristic. Dar *elipsoidul*, Pămîntul uniformizat, devine mai puțin ireal și neinteresant pentru geograf și navigator, al căror interes se împarte între proprietățile globale ale planetei și detaliile suprafeței sale. În sfîrșit, pentru astronomi, Pămîntul nu mai este nimic altceva decît un *elipsoid*. Or, cel mai mărunț dintre fenomenele terestre poate fi determinat uneori, în parte sau chiar în totalitate, de proprietățile Pămîntului simplificat, care devin, în această perspectivă, mai reale decît cele ale Pămîntului real. Tot astfel și cu Cosmosul, deși, firește, nu trebuie să fim încrezători în orice analogie, cu atât mai mult în cele care merg de la parte spre întreg.

Vom reveni acum la punctul nostru 5, *deplasarea spre roșu a radiațiilor nebuloaselor*, punct care cere de aici înainte comentăriile cele mai îngrijite și cele mai precise. Aici intervine, într-adevăr, *faptul* cel mai important pentru cosmologia modernă.

Anterior am exprimat acest fapt direct în termeni de *expansiune* pentru a-i reda dintr-o dată întreaga semnificație; acum va trebui să folosim un limbaj mai precis și mai ponderat. Dincolo de o

¹ În limba engleză, în original — *netezit*. — N.T.

² *The Theoretical Aspects of the Nebular Red-shift*, Publ. of the Astr. Soc. of the Pacific, 67, 1955, p. 82.

anumită *magnitudine*, adică atunci cînd strălucirea lor aparentă devine destul de slabă, liniile identificabile din spectrul galaxiilor sînt toate decalate spre roșu, în raport cu cele ale surselor locale de referință. În afara faptului că se produce totdeauna în același sens, acest *red-shift*, cum spun cu comoditate autorii de limbă engleză, are anumite caracteristici remarcabile, care pot fi considerate ca bine stabilite.

Prin forma sa, deplasarea spre roșu este asemănătoare unui *efect Doppler*, adică decalajului spectral care rezultă din componenta radială a mișcării relative a sursei de lumină în raport cu observatorul; dacă λ este lungimea de undă și $\Delta\lambda$ creșterea sa, raportul $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ este independent de λ și nu depinde decît de sursă.

Acest rezultat este bine stabilit pentru orice radiație optică a galaxiilor; lipsește deocamdată dovada extinderii sale și la spectrul radio; pînă în prezent, a fost într-adevăr imposibil să se identifice măcar o singură linie în spectrul de radiații al „radiosurselor presupuse îndepărtate”¹.

b. Deplasarea spre roșu este izotropă: ea apare pentru toate galaxiile dincolo de o anumită magnitudine, nedepinzînd decît de aceasta; în particular, ea este independentă de poziția obiectului considerat pe sfera cerească.

c. Deplasarea spre roșu este o funcție crescătoare de magnitudinea aparentă, care la rîndul ei este o funcție crescătoare de distanță; deplasarea spre roșu este deci o funcție crescătoare de distanță. Determinarea exactă a acestei funcții, pornind de la observații, este o problemă dificilă a cosmologiei empirice; dar, cu ajutorul cîtorva ipoteze plauzibile, ea poate fi aproximată printr-o relație deosebit de simplă și de izbitoare. Presupunînd că: α) deplasarea spre roșu este de tip *efect Doppler* și că formula clasică pentru acest efect este aplicabilă în primă aproximație, și β) legea clasică care dă raportul între energia radiației emise de o sursă și energia primită de un receptor situat la o distanță r este aplicabilă în acest caz, se obține *legea lui Hubble*, conform căreia galaxiile îndepărtate sînt animate de o mișcare de îndepărtare a cărei viteză este proporțională cu distanța lor.

Măsurătorile făcute de Hubble și Humason, cu telescopul Hooker de la Mount Wilson, confirmaseră progresiv aceste rezul-

¹ Rezultatele lui Lilley și McClain care credeau că au observat o deplasare spre roșu a liniei de 21 cm din radiația sursei Cygnus A — cea mai intensă sursă extragalactică — sînt atribuite în prezent unei erori instrumentale; cu radiotelescoapele aflate în funcțiune la ora actuală, linia de 21 cm nu poate fi observată de fapt în Cygnus A.

tate pînă la limita accesibilă acestui instrument ; cu toate că estimarea lor în ceea ce privește coeficientul legii — „constanta lui Hubble” — este considerată acum ca eronată, datorită erorilor sistematice în racordarea scării distanțelor metagalactice la scara distanțelor locale, existența și forma relației au fost confirmate din plin de măsurătorile făcute la Mount Palomar, și nimic nu indică necesitatea revizuirii lor. Ținînd cont de gradul mare de incertitudine în ceea ce privește măsurătorile la scară cosmică, putem deci să le considerăm ca pe niște achiziții sigure.

Trebuie însă interpretată, într-adevăr, deplasarea spre roșu a galaxiilor ca un fenomen cinematic de tip *efect Doppler*? Această întrebare a suscitat multe controverse, pentru că ideea, prost înțeleasă, a expansiunii Universului a părut mult timp incredibilă sau suspectă unei opinii științifice care nu se obișnuia decît încetul cu încetul să admită principiile și rezultatele cele mai incontestabile ale teoriei relativității. În afară de aceasta, ideea expansiunii, așa cum ne vom convinge din ce în ce mai mult pe parcursul prezentei lucrări, lovea în prejudecăți chiar și mai profund înrădăcinate, și anume în acelea care decurg din concepția că atemporalitatea entităților logice trebuie în cele din urmă să se regăsească în natură, dacă vom merge destul de departe sau dacă vom coborî la un nivel destul de profund cu cercetarea. Întorcîndu-ne în timp, vedem mii de indicii că știința a trebuit să depășească în acest caz un „obstacol epistemologic” de mari proporții și că fără îndoială acest efort continuă încă. În acest sens, este suficient să notăm pentru moment nu numai înverșunarea neobișnuită împotriva ideii de expansiune a unor savanți de reputație mondială în specialitatea lor, ca F. Zwicky, dar, mai mult, rezerva chiar a descoperitorului deplasării spre roșu, marele Hubble, care, pe baza unor observații considerate astăzi insuficiente, a preferat în cele din urmă să înlăture interpretarea cinematică a deplasării spre roșu, oricît de problematice îi păreau alte interpretări.

Astăzi se poate spune că această controversă nu mai are decît un caracter istoric ; ralierea oficială a științei sovietice, în persoana lui Ambartsumian, la ideea expansiunii sistemului de galaxii a fost, în 1958, semnul sigur că lucrurile erau clarificate ; singura interpretare satisfăcătoare care se poate da, în stadiul actual al științei, deplasării spre roșu a nebuloaselor este de a o înțelege în cadrul teoriilor cosmologice¹, ca fiind un fenomen cinematic — poate ar fi mai bine să spunem geometric, căci nu este vorba de o

¹ Vezi Anexa, IV, ec. (45, 46, 47).

„mişcare” în sensul obișnuit, deci local, al cuvîntului (adversarii expansiunii au refuzat mult timp să înțeleagă acest lucru).

Stingerea controverselor și ralierea generală la explicația geometrică și structurală se explică prin două cauze: mai întâi, în ciuda încercărilor numeroase și variate — la care au participat cei mai buni fizicieni — nu s-a reușit să se găsească o altă explicație cu adevărat satisfăcătoare; toate cele care au fost propuse, fie că nu explică toate caracteristicile fenomenului observat, fie că prevăd în radiația stelelor efecte importante care nu au fost niciodată detectate. În al doilea rînd, însăși dezvoltarea gîndirii cosmologice a făcut ca cercetările privind o soluție de înlocuire să-și piardă atracția. Atracția unei astfel de soluții consta în aceea că se spera conservarea, datorită ei, a imaginii unui Univers static și euclidian; dar pe măsură ce teoria cosmologică lua amploare și-și consolida principiile, devenea din ce în ce mai clar că ipoteza unui Univers static și euclidian se dovedea restrictivă în mod excesiv, inutil și arbitrar; de aici înainte încercarea de a interpreta cu complicații inutile, într-un Univers static, un efect care se deduce foarte simplu într-o clasă întreagă de universuri nestatice, riscă să apară tot atît de lipsită de sens ca încercarea unui astronom de a înțelege mișcarea planetei Pluto în sistemul lui Ptolemeu. De aceea, în 1950, Couderc judeca cu severitate încăpățînarea celor care mai căutau încă, pentru deplasarea spre roșu, un *Ersatz*¹ de explicație; ceea ce a urmat pare a confirma justetea unui verdict a cărui rigoare surprindea încă în acea perioadă².

Să ne reîntoarcem, pentru un moment, la istoria descoperirilor astronomice ale secolului al XX-lea pentru a constata încă o dată că, în vremea cînd viziunea cosmică își lua locul său, în condițiile pe care le-am reamintit sumar, ea se preciza considerabil, datorită unei îmbogățiri continue a cunoștințelor „locale” și unei largiri deosebite a domeniului de explorare considerat „local”. Or, o mare parte a acestor achiziții „infra cosmologice”, dacă se poate spune așa, au venit să confirme în mod remarcabil nu ipoteza uniformității, desigur, ci sentimentul *mobilității* esențiale pe care deplasarea spre roșu a nebuloaselor îl suscită. Acest sentiment îl exprima Couderc cînd spunea că Universul, așa cum a învățat să-l vadă astronomia secolului al XX-lea „prezintă semnele unei

¹ În limba germană. în original — *surogat*. — N. T.

² „Vanitatea, sterilitatea eforturilor făcute de douăzeci de ani pentru combaterea recesiunii este caracteristica unei proaste discipline intelectuale. A căuta o interpretare ad-hoc, a dori să îndepărtezi un fenomen sugerat intens de observație, pentru că duce la concluzii « prea mari », este desigur contrar oricărei metodologii științifice adevărate”. *L'Expansion de l'Univers*, Paris, P.U.F., 1950, p. 86.

tinereți exuberante”¹. Aceste semne, împreună cu aparenta fugă a nebuloaselor, explică faptul că gândirea cosmologică a fost oarecum fascinată de viitorul lumii și că ea și-a regăsit o vocație cosmogonică.

Pentru a ilustra această apariție a unei dimensiuni istorice și genetice în toate fenomenele cerești, căreia dealtfel îi va fi consacrat un întreg capitol al cărții, ne vom limita la două exemple simple și deja clasice. Primul exemplu este exclusiv astronomic: descoperirea structurii cinematice a Galaxiei. Al doilea este de origine fizică și are consecințe astrofizice și cosmogonice: demonstrația teoretică și experimentală a faptului că transmutațiile nucleare sînt posibile — și că ele sînt chiar banale în Soare și în stele.

1. Am prezentat modul în care descoperirea fenomenului universal al deplasării spre roșu a apărut la început ca o negare a eșecului încercării de a reînnoi în lumea metagalactică rezultatul obținut de Herschel în lumea stelară: determinarea unui *apex* al Galaxiei. Pînă la un anumit punct, descoperirea în aceeași vreme a rotației diferențiale a Galaxiei, iar mai tîrziu, cea a detaliilor structurii sale cinematice, oferă un exemplu analog, deși mai puțin spectaculos, al acestei înaintări de-a-ndaratele în necunoscut care-și găsește sensul abia la sfîrșit, cînd se observă că ipotezele inițiale nu erau tocmai cele care ar fi trebuit să fie alese pentru a pune mai bine în evidență ceea ce se căuta².

Întreprinzînd, la începutul secolului, marile sale cercetări statistice asupra distribuției stelelor și a mișcărilor lor, Kapteyn introdusese ipoteza unei distribuții maxwelliene a vitezelor în vecinătatea Soarelui. Aceasta este expresia matematică clasică a ipotezei că agitația locală dezordonată definește, prin perfecta sa incoerență, un fel de *substratum* local de repaus. Adaptată lumii stelare, aceasta reprezenta expresia modernă și statistică a postulatului permanenței cosmice. Or, dacă aplicată unor stele suficient de apropiate, ipoteza este excelentă ca mijloc de determinare precisă a *apex*-ului (Herschel nu folosisese decît șase stele...) dincolo de o anumită limită ea își dovedește propria inadecvare: odată eliminată viteza proprie a Soarelui, vitezele reziduale nu se distribuie în mod izotrop; apare o direcție privilegiată — un *vertex* — de-a lungul căreia vitezele sînt mai dispersate; aceasta

¹ *Ibid.* p. 203.

² P. COUDERC, *L'Univers*, P.U.F., Paris, 1955, pp. 37—45.

F. NAHON, *Cinématique et Dynamique de la Galaxie*, în *L'Astronomie*, sub conducerea lui E. SCHATZMAN, *Encyclopédie de la Pléiade*, Gallimard, Paris, 1962, pp. 822—40.

a fost o surpriză pentru Kapteyn care a descoperit-o ; nu era decît prima dintr-un lung şir.

Timp de douăzeci de ani, analiza statistică a fost continuată, revelînd din ce în ce mai clar asimetria mişcărilor stelare, care şi-a găsit în cele din urmă o explicaţie satisfăcătoare în teoria rotaţiei diferenţiale a Galaxiei, desăvîrşită de Oort în 1927, a cărei interpretare dinamică a fost dată de Lindblad şi care, acum zece ani, a fost strălucit confirmată de observaţiile radioastronomice.

Roiurile stelare, ca şi norii de materie difuză, se rotesc deci în jurul centrului Galaxiei, dar cu viteze unghiulare diferite şi, ca şi planetele, cu atît mai lent cu cît sînt mai îndepărtate (cel puţin începînd de la o anumită distanţă de centru, pentru că nucleul se roteşte ca un corp solid). Or, această rotaţie de ansamblu şi forfecarea care rezultă din diferenţele de viteze exclud orice configuraţie de ansamblu stabilă ; după un timp relativ scurt (în vecinătatea Soarelui perioada de rotaţie este de cîteva sute de milioane de ani), orice structură diferenţiată trebuie în mod necesar să fie distrusă sau transformată ; dacă există una acum (Galaxia este o spirală), ea datează deci de puţin timp şi pentru puţin timp.

Tocmai acest fapt este confirmat de analiza mai recentă şi mai detaliată a mişcării grupurilor de stele : ea pune în evidenţă mişcări multiple şi haotice, dar nu uniformizate cum sînt acelea ale unui sistem care a putut rămîne coerent un timp suficient de lung pentru a atinge stabilitatea dezordinii cinematice perfecte (cum ar fi, de exemplu, un gaz perfect, menţinut un timp nelimitat la o temperatură constantă, într-o incintă imuabilă şi etanşă). Dimpotrivă, în Galaxie, sistemele formate fiecare din stele de acelaşi tip fizic şi pe cît se pare de aceeaşi vîrstă se întrepătrund, fiecare fiind parţial dispersat, dar rămînînd încă parţial coerent. Formulele statistice uzuale de formă gaussiană nu descriu decît imperfect o situaţie în mişcare, în legătură cu care nu pot da decît un „rezumat”¹. Ele sînt adecvate pentru descrierea unor sisteme foarte stabilizate. Ipoteza permanenţei nu este aplicabilă grupărilor de stele nici în forma sa antică pe care o exprima destul de clar vechea expresie a „sferei stelelor fixe”, nici în forma modernă şi mai subtilă a stabilităţii statistice. Or, acelaşi lucru este adevărat, din alte motive independente, în ceea ce priveşte structura internă a stelelor, ceea ce ne conduce la punctul al doilea.

2. Indiscutabil, una dintre cele mai importante descoperiri ale secolului este posibilitatea existenţei unei chimii nucleare, în

¹ F. NAHON, *artic. cit.*, p. 861.

cadru al căreia atomii se transformă unii în alții. Ea a avut consecințe capitale, printre multe altele, în dezvoltarea unei imagini mai vii și mai precise a mobilității cosmice. În 1919, Jean Perrin a propus, pentru prima dată, ipoteza după care transmutația hidrogenului în heliu ar putea sta la originea enormului debit de energie al Soarelui; acest lucru era adevărat, dar va rămâne mulți ani nedemonstrabil. Jeans, a cărui operă reprezintă preludiul întregii cosmologii moderne și pe care îl fascina imaginea unui Cosmos transformat în cele din urmă total în lumină, avea toate motivele pentru a aprecia și a-și însuși presupunerea lui Perrin. Totuși, nu el este acela care a făcut-o „operatorie” pentru astrofizică, ci, în anii premergători celui de-al doilea război mondial, câțiva fizicieni mult mai tineri, entuziasmați de fizica nucleară: „ciclul carbonului” al lui Bethe și von Weizsäcker, procesul proton-proton al lui Schatzman și Fowler, ambele transformând hidrogenul în heliu, sînt, în esență și în timpul celei mai mari părți din viața stelelor, fenomenele energetice de bază.

Or, a constata aceste fapte nu înseamnă numai găsirea cheii care deschide marea poartă a fizicii stelare, ci și asigurarea, în cunoștință de cauză, că stabilitatea Soarelui — a cărei riguroasă precizie pe o durată imensă este atestată de însăși viața noastră — nu este decît aparența trecătoare a unei transformări în sens unic. Căci, dacă toate lanțurile de reacții nucleare se soldează cu un bilanț energetic echilibrat, ele nu sînt mai puțin asimetrice din cauza defectului de masă al heliului; o fracțiune din masa originală este deci disipată, ireversibil, ca energie radiantă. În inima unuia dintre procesele cosmice cele mai comune și mai elementare se regăsește deci această distincție esențială dintre cantitatea de energie și calitatea sa, care făcuse atît de laborioasă punerea la punct a conceptelor termodinamicii, pe vremea cînd aceasta se ocupa numai de modestele cazane omenești și nu de imensele cupatoare stelare.

Totuși căutările conjugate ale teoriei și ale observațiilor astrofizice nu au întîrziat să arate că faza din viața stelelor al cărei curs este guvernat de transformările hidrogen→helium, nu este decît partea stabilă și calmă, într-un fel vîrsta adultă a unei istorii mai frămîntată în peripețiile sale inițiale și finale, mult mai scurte și mai greu observabile și inteligibile, dar asupra cărora se face încetul cu încetul lumină.

Or, explorarea dificilă a avatarurilor stelei care îmbătrînește repune și amplifică problema cosmogonică. Nu rămîne nici o îndoială: cînd în centrul stelei hidrogenul este în întregime transformat în heliu, începe „aprinderea” heliului (*helium flash*) înso-

țită de o formidabilă creștere a temperaturii¹ și este inaugurat un ciclu nou de transmutații nucleare în cursul căruia se vor putea forma nuclee din ce în ce mai complexe. Cu alte cuvinte, în stele are loc o geneză cel puțin parțială a *elementelor*, plecând de la cel mai simplu dintre ele. Apare astfel pentru gândirea cosmogonică o nouă dimensiune și problema genezei se pune pe toată întinderea fenomenelor fizice, de la cele mai infime la cele mai imense. Cel puțin această formă de uniformitate, de a participa la o aceeași devenire, se impune tuturor existențelor fizice, de la un capăt la celălalt al scării cosmice. Este oare această devenire *aceeași*, și în ce sens? Problema ocupă un loc prea important în cadrul gândirii cosmologice pentru ca să nu-i acordăm măcar o examinare sumară.

¹ Temperatura în centrul stelei, care este de ordinul a 20 de milioane de grade în timpul perioadei reacțiilor hidrogenului, ar atinge 300 de milioane de grade la sfârșitul perioadei de *helium flash* (M. SCHWARZSCHILD, *Stellar Evolution. Transactions of the I.A.U. XI—B*, 1962, pp. 137—143).



A. Lucrarea *Kosmologische Betrachtungen* a lui Einstein și Universul cilindric

O comunicare a lui Einstein făcută la Academia de Științe din Prusia¹ deschide, în februarie 1917, o nouă eră în cosmologie. Deși aceste *Considerații cosmologice* sînt foarte îngrijit și riguros motivate, rezultatul la care ele conduc, celebrul „Univers cilindric” al lui Einstein, este în general mai bine cunoscut decît intenția care le-a animat. Totuși, din punctul nostru de vedere, istoric și filozofic, tocmai această intenție este cea care trebuie să ne rețină în primul rînd atenția. Iată mai întîi linia generală a argumentației: folosind legea gravitației a lui Newton, este imposibil să se obțină o reprezentare coerentă a Universului în ansamblul său, care să concorde cu faptele de observație cele mai bine stabilite, în afară de cazul în care se adaugă un termen suplimentar în ecuația lui Poisson. Or, în teoria relativității, apare o dificultate analoagă și este posibilă o rezolvare analoagă; analogia cu ecuația lui Poisson, analogie pe care este construită ecuația relativistă a cîmpului, se prelungește într-un anumit sens în extrapolarea cosmică². Numai că, în cazul formulei relativiste — în afară de faptul că nu se pune problema revenirii la teoria newtoniană — modificarea ecuației cîmpului antrenează o modificare radicală a imaginii științifice tradiționale a Universului; pe cînd timpul continuă să se întindă între infinitul trecutului și infinitul viitorului, spațiul se închide; nu mai există infinit în spațiu și totuși spațiul nu are limite; centrul este pretutindeni și circumferința nicăieri. În plus, această suprimare a infinitului este scopul căutat în mod explicit de autor, care găsește astfel singurul mijloc de a se debarasa de o dificultate inextricabilă.

¹ A. EINSTEIN, *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeine Relativitätstheorie*, Sitzungberichte der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften, 1917, pp. 142—52.

² Vezi Anexa, III, ec. (34, 35).

Dificultățile cosmologiei newtoniene erau bine cunoscute încă de la sfîrșitul secolului al XIX-lea. Trebuie mai întîi să ne reamintim împreună cu Einstein, principala lor sursă : ecuația lui Poisson, care leagă potențialul gravitațional (prin derivatele sale de ordinul doi) de densitatea materiei, este o ecuație cu derivate parțiale, deci o ecuație locală. Dacă vrem s-o aplicăm unui sistem finit și, cu atît mai mult, Universului în întregime, trebuie definite condițiile la limită ; or, exact același lucru se petrece cu ecuația relativistă a cîmpului, care este de asemenea o relație locală. Dacă se consideră un sistem finit, se impune de la sine condiția ca la infinit cîmpul să se anuleze, deci potențialul să fie constant. Acesta este tocmai modul în care Einstein a tratat problema planetelor. Mai poate fi oare folosită aceeași ipoteză atunci cînd este vorba de întregul Univers ? Cu siguranță nu, în cadrul teoriei newtoniene : într-adevăr, din ecuația lui Poisson rezultă că, dacă se alege un punct central în care potențialul este diferit de zero, trebuie ca la infinit densitatea să fie nulă. Așadar, Universul newtonian ar trebui să fie materialmente finit într-un spațiu infinit. Este acest lucru de conceput ? Nu prea, fiindcă ar trebui să înțelegem în ce fel corpurile cerești, care sînt animate de anumite viteze individuale, sînt împiedicate să iasă din sistemul newtonian. Pentru aceasta ar trebui, conform legilor mecanicii statistice, ca potențialul gravitațional la frontiera sistemului să fie foarte mare, ipoteză incompatibilă cu vitezele stelare efectiv observate.

Singura soluție posibilă în cadrul teoriei newtoniene — așa cum demonstrează pe la 1895 predecesorii lui Einstein, Seeliger și Neumann, — constă în a modifica ecuația lui Poisson, introducîndu-i un termen proporțional cu Φ . În acest caz se ajunge la o nouă soluție care corespunde unei distribuții uniforme a materiei extinse pînă la infinit. Fapt remarcabil, sistemul cosmic nu mai are atunci un centru, el este în echilibru și contradicția cu mecanica statistică dispăre.

Această referire la teoria newtoniană, pe care Einstein o considera depășită și integrată în teoria al cărei autor era, nu putea fi în ochii săi, evident, decît un mijloc indirect de a-și clarifica lucrurile. Ea arată, dacă mai este nevoie, cît de preocupat era marele inovator de tranziția de la știința clasică la știința modernă și ce valoare atribuia el procedului de generalizare analogică ; dar Einstein nu pretindea ca modificarea adusă teoriei newtoniene să fie „luată în serios”. De luat în serios este preocuparea de a ști ce se va întîmpla cu aceeași problemă în cadrul teoriei relativității generalizate.

Deși se prefigura prilejul unei noi lovituri de trăznet, autorul acestor considerații cosmologice ne invită mai curînd cu modestie să-l urmăm pe drumul oarecum indirect și nu prea neted pe care el însuși l-a trasat, pentru că numai în felul acesta poate spera că cititorul „se va interesa de rezultat”. Parcurgînd acest drum putem regăsi prima intenție a cosmologiei secolului al XX-lea.

Principiul este acela că „într-o teorie coerentă a relativității nu poate exista inerție în raport cu spațiul, ci numai o inerție a maselor unele față de celelalte”, o nouă formulare a principiului lui Mach, care constituia deja unul din postulatele teoriei relativității generalizate. Se vede astfel că pentru Einstein extrapolarea cosmologică este prelungirea naturală a teoriei relativității, mai exact prelungirea ei logică în sensul principiilor și nu în acela al consecințelor.

Într-adevăr, dacă vrem să dăm o valoare cu adevărat universală principiului relativității inerției, rezultă consecințe foarte restrictive pentru determinarea coeficienților metricii spațio-temporale, — ceea ce dovedește dealtfel foarte puternica coerență logică a sistemului einsteinian. Inerția unui corp care se depărtează infinit de orice masă ar trebui să tindă spre zero; în acest caz, un calcul simplu arată — și o examinare mai riguroasă confirmă — că coeficienții variabilelor spațiale în expresia metricii tind spre zero și că cel al termenului temporal crește infinit. Rezultă de aici consecința satisfăcătoare aprioric că în aceste condiții o particulă nu poate părăsi sistemul, pentru că energia ei potențială tinde spre infinit atunci cînd ea se îndepărtează.

Or, ecuațiile teoriei relativității fiind așa cum sînt, ar trebui ca asemenea condiții să fie compatibile cu starea fizică a Universului real, așa cum îl observăm în partea lui care ne este accesibilă. Lucrurile însă nu stau așa și ajungem din nou la dificultățile cosmologiei newtoniene: cerința ca potențialele la infinit să fie infinite este incompatibilă, conform mecanicii statistice, cu faptul observat că vitezele stelelor sînt mici în raport cu viteza luminii. Einstein spune că a întors problema pe toate fețele, cu ajutorul matematicianului Grommer, și s-a convins că este de nerezolvat.

Iată-l deci ajuns la un punct critic în care, încă o dată, va da măsura geniului său. Pentru a ieși din impas, nu-i rămîn decît două soluții, dar cum nici una nici cealaltă nu-l satisface taie nodul gordian și inventează o a treia. Prima posibilitate (a) ar consta din substituirea, într-o manieră clasică, a condiției la limită avută în vedere mai înainte, printr-o condiție care cere ca, la infinit, forma metricii spațio-temporale să fie cea a relativității

restrînse¹. Aceasta este condiția la care el s-a oprit în studiul problemei planetelor, cu succesul pe care-l cunoaștem.

Două considerente îl abat însă pe Einstein de la această cale. Primul este că aceasta presupune alegerea unui sistem de referință determinat, ceea ce „contrazice spiritul principiului relativității”. Problema planetelor este o problemă locală și natura ei impune evident alegerea unui sistem de referință centrat în Soare, presupus fix; fiind vorba de Univers, trebuie ca orice sistem de referință să fie echivalent cu oricare altul. Al doilea motiv de a exclude această soluție este incompatibilitatea sa cu principiul relativității inerției: un corp infinit îndepărtat de orice materie ar mai păstra încă o inerție și chiar una aproape la fel de mare ca atunci când el se află în vecinătatea materiei, pentru că, în orice caz, în partea Universului pe care noi o cunoaștem potențialele nu se pot abate mult de la valorile postulate la infinit.

„În felul acesta, inerția ar fi desigur *influențată* (*beeinflusst*), dar nu *determinată* (*bedingt*) de materia prezentă într-un domeniu finit”. Această exprimare, atît de caracteristică filozofiei einsteiniene cu exigențele ei de determinare completă, echivalează deci cu o condamnare definitivă a soluției (a).

Cît despre soluția (b), ea conduce direct la pluralism, ba chiar la scepticism cosmologic: ea constă în renunțarea la o definire universală a condițiilor la infinit. Aceste condiții ar trebui să fie formulate în fiecare problemă particulară și nu ar avea valoare decît în raport cu problema respectivă. O soluție de necombătut, declară Einstein concesiv, dar se poate spune că însăși etica sa științifică este în joc: „Trebuie să mărturisesc că îmi este greu să mă resemnez într-o asemenea măsură, într-o astfel de problemă de principiu; nu m-aș hotărî la aceasta decît dacă toate eforturile de a găsi o interpretare satisfăcătoare s-ar dovedi inutile”.

Care este atunci cea de-a treia posibilitate care va permite ieșirea din impas? Prezentată în afara contextului, ea ar părea o stratagemă dialectică: condițiile la infinit fiind imposibil de definit, nu rămîne decît să suprimăm infinitul... „Dacă ar fi posibil să considerăm lumea ca un *continuum* închis în ceea ce privește dimensiunile sale spațiale (sublinierea lui Einstein), atunci nici o condiție la limită de acest fel nu ar mai fi necesară”. Tocmai această eschivare aparentă constituie primul act al cosmologiei contemporane.

Înainte de a-l urma pe Einstein prin această nouă breșă în edificiul ideilor preluate, iată două remarci prealabile care vor

¹ Vezi Anexa, II, cc. 28.

face să pară mai puțin insolit modul său de a raționa. Mai întâi, transformarea, în sensul pe care-l au aici cuvintele, a finitului în infinit este o operație destul de elementară din punct de vedere matematic, care capătă un aspect demiurgic numai dacă încercăm să ne imaginăm aplicarea sa la Universul real. Inversiunea, spre exemplu, o transformare geometrică a cărei lege este foarte simplă, transformă punct cu punct (cu excepția centrului de inversiune însuși) o sferă într-un plan, dacă centrul de inversiune este pe sferă. Matematica a inserat conceptele „naturale”, dacă se poate spune așa, de finit și infinit într-o rețea atât de complexă de definiții, de axiome și diverse operații, încât vechea opoziție și-a pierdut oarecum caracterul afectiv abrupt (așa cum îl întâlnim la Pascal), ba chiar și aspectul antinomic metafizic pe care-l îmbracă la Kant.

A doua remarcă este aceea că redescoperirea Universului finit este pregătită și anunțată de dezvoltarea teoriei relativității generalizate în forma ei locală. Această teorie implică într-adevăr că materia determină, în regiunea din spațiu în care se găsește, o modificare a structurii metrice a spațiului care are o anumită legătură cu o „curbură” în sensul uzual al cuvântului, spre exemplu cea pe care o vedem la suprafața Pământului, pe culmea unui deal, într-o trecătoare sau pe fundul unei vilcele. În termeni mai abstracti, teoria pune local în discuție aptitudinea geometriei euclidiene de a reprezenta fidel proprietățile geometrice ale spațiului fizic, cel puțin în vecinătatea unor mari concentrări de materie. Mergând pe drumul cosmologiei einsteiniene, nu trebuie să uităm această etapă de deformare locală a structurii euclidiene.

Acestea fiind spuse, să reluăm drumul „nu prea neted” al lui Einstein din punctul în care l-am lăsat. Neputând să iasă din impas, el se întoarce mult în urmă și schimbă complet direcția: el stabilește aprioric că spațiul este închis, se întreabă în ce condiții o asemenea ipoteză este compatibilă cu ecuațiile câmpului și descoperă în final că această compatibilitate poate fi asigurată prin introducerea unui termen suplimentar în aceste ecuații, în mod formal analog celui care, introdus în ecuația lui Poisson, eliberează cosmologia newtoniană de contradicțiile ei.

Cum va proceda el? Mai întâi, prin Univers finit, trebuie să înțelegem spațiul finit, cu trei dimensiuni, în care două puncte oarecare pot fi totdeauna unite printr-o traiectorie a cărei lungime rămâne mai mică sau egală cu o valoare maximă finită, și care totuși nu lasă nimic „în afara” lui și nu are margine. Modul cel mai simplu — cel ales de către Einstein — de a arăta posibi-

litatea existenței unui asemenea spațiu, este de a-l face, pînă la un anumit punct, intuitiv, procedînd prin analogie. Într-un spațiu euclidian cu trei dimensiuni, coordonatele carteziane ale unui punct de pe o sferă — o suprafață adică un *continuum* cu două dimensiuni — verifică o anumită relație algebrică, ecuația sferei. Adăugînd spațiului încă o dimensiune și scriînd o ecuație identică cu cea a sferei, cu singura excepție că aceasta leagă nu trei ci patru coordonate pentru fiecare punct, se definește un *continuum* cu trei dimensiuni, o hipersuprafață, care va prezenta importante analogii cu sfera (așa cum dreapta, planul, spațiul euclidian cu trei sau cu n dimensiuni sînt entități geometrice analoage, deși nu au același număr de dimensiuni). În afară de caracterele excepționale de simetrie și de regularitate ale sferei, hipersuprafața va avea de asemenea aceeași proprietate de a fi un ansamblu geometric închis și finit.

În acest spațiu, ca și pe sferă, nu vor exista linii drepte, dar vor exista curbe — analoage cu cercurile mari de pe sferă — care vor juca rolul dreptelor euclidiene; ele vor defini traiectoria naturală a razelor de lumină; urmîndu-le indefinit, un mobil va reveni în punctul său de plecare (tot așa cum, pe Pămînt, un călător plecat de la Polul Nord urmînd un meridian, revine în mod sigur în punctul de plecare).

Ce este de fapt acest spațiu euclidian cu patru dimensiuni pe care Einstein a trebuit să-l inventeze pentru a obține imaginea spațiului închis cu trei dimensiuni pe care-l căuta¹? Posibilitatea existenței spațiului închis nu este subordonată oare unei ipoteze gratuite, pe care nici una din proprietățile cunoscute ale naturii fizice n-o îndrituiește? Einstein pune această întrebare dar nu se oprește asupra ei, deoarece ea nu ridică nici o dificultate reală; ni se pare totuși oportun să ne oprim puțin asupra ei pentru mai buna înțelegere a ceea ce urmează.

De fapt, ipoteza spațiului euclidian cu patru dimensiuni nu este deloc necesară, deși ar putea fi în anumite împrejurări utilă. Proprietățile metrice ale suprafețelor sau ale hipersuprafețelor sînt cel puțin local independente de faptul că sînt sau nu considerate ca fiind scufundate în spații de dimensiuni mai mari și, după Gauss și Riemann, geometrii au învățat să exprime aceste proprietăți intrinseci fără să recurgă în mod necesar la un sistem de referință al cărui număr de dimensiuni depășește pe cel al „varietății” ce urmează să fie descrisă. Limitați la suprafața sferei și

¹ Acest spațiu auxiliar, euclidian și fictiv, nu trebuie desigur confundat cu spațiul-timp-ul, care și el are patru dimensiuni, dar nu este nici euclidian, nici fictiv.

incapabili de a o „vedea” în trei dimensiuni, geometrii instruiți de Gauss și Riemann ar fi totuși capabili să-i descrie exact proprietățile.

Riguros vorbind aceasta nu este adevărat decât local și caracteristicile metrice intrinseci nu sînt suficiente pentru a determina în mod complet forma suprafeței și proprietățile ei metrice globale : luînd sau nu în considerație o dimensiune suplimentară, o soluție globală sau alta se va putea impune sau va fi exclusă. În cazul considerat de Einstein — acest lucru nefiind valabil, desigur, pentru toate geometriile cosmice imaginabile — acest aspect al problemei este secundar, după cum vom vedea mai departe.

Ipoteza auxiliară a spațiului euclidian cu patru dimensiuni „nu servește deci decât pentru o definire comodă a hipersuprafeței noastre”, după însăși expresia lui Einstein. Ea nu introduce nici un postulat de natură fizică sau epistemologică și, oricît de dificil de imaginat ar fi spațiul „sferic”, nici o dificultate de principiu nu ne împiedică să-l considerăm ca pe o reprezentare adecvată a proprietăților geometrice ale spațiului fizic.

Dealtfel nu acest lucru era important pentru Einstein. Conform teoriei relativității generalizate, starea materiei și structura metrică a spațiului în care ea este conținută sînt legate analitic ; trebuia deci să se determine dacă, și în ce condiții, se poate concepe o stare a materiei în Univers căreia să-i corespundă, conform ecuațiilor relativiste, o geometrie sferică a spațiului. Acesta este subiectul primei discuții în legătură cu ceea ce va deveni problema cosmologică, iar postulatele fundamentale ale științei despre Univers sînt clar evidențiate aici.

La scara fenomenelor locale, există asemenea neregularități în distribuția materiei încît structura metrică a spațiu-timp-ului nu poate fi decât extrem de complicată. Dar dacă Universul este considerat în ansamblul său, materia este repartizată pe spații atît de enorme încît densitatea poate fi considerată ca uniformă și puțin variabilă ; rezultă deci că sub neregularitățile locale, se va contura o structură metrică simplă. Așa procedează de fapt geodezii : suprafața Pămîntului este extrem de neregulată în detaliu dar, la scară mare, ei pot să-i substituie figura simplă și regulată a *geoidului*. În 1917, acest postulat al uniformității era o anticipare destul de îndrăzneță, sugerată mai curînd de un sentiment al unității cosmice și al simplității naturii decât de rezultatele observației. Dar, așa cum am văzut, marile descoperiri astronomice din deceniul al treilea l-au confirmat în mod strălucit.

În afară de aceasta, constată Einstein, faptul că vitezele medii ale stelelor sînt mici în raport cu viteza luminii¹, îndreptățește ipoteza existenței în Univers a unui sistem de coordonate în raport cu care materia poate fi considerată într-un repaus durabil. Spre deosebire de ipoteza precedentă, aceasta nu a fost confirmată de observație, ci contrazisă de descoperirea deplasării spre roșu a nebuloaselor, a cărei existență era numai bănuită la acea dată.

Dar, cu ajutorul acestei ipoteze, Einstein poate simplifica extrem de mult tensorul energie pentru materia cosmică: cele zece componente ale lui se reduc la una singură, densitatea medie de materie-energie, care poate fi aprioric o funcție de coordonate; dar dacă se presupune că spațiul este închis, „se ajunge în mod natural la *ipoteza* că densitatea ρ este independentă de loc”.

Dacă se introduce această valoare simplificată în ecuațiile cîmpului, admit oare aceste ecuații ca soluție metrica spațiului sferic? Nu, compatibilitatea nu se obține decît prin modificarea ecuațiilor, prin introducerea unui nou termen denumit în mod obișnuit „termen cosmologic”, în care figurează o nouă constantă numită și ea „constantă cosmologică” și notată totdeauna după Einstein², cu Λ .

Această modificare este permisă pentru că nu contrazice nici una din axiomele teoriei relativității generalizate. În particular, ea lasă intactă ecuația de conservare și dă, de fapt, ecuațiilor cîmpului forma cea mai generală compatibilă cu axiomele teoriei. Nu se poate să nu fim frapați de această coincidență exactă între generalizarea formală și extrapolarea cosmologică, deși după aceea, așa cum vom vedea, Einstein a făcut destul de puțin caz de această coincidență.

Astfel modificate, ecuațiile admit ca soluție o structură metrică în care spațiul este hipersferic, închis, iar timpul este deschis, neafectat de curbura spațiului.

Universul lui Einstein este primul model al cosmologiei moderne și, de fapt, prima reprezentare geometrică a totalității fizice care să nu fie în contradicție formală cu principiile și cu legile cele mai bine stabilite ale fizicii pozitive. Materia și energia sînt aici repartizate uniform într-un spațiu închis, hipersferic, omogen, fără nici o singularitate, în care nici un punct nu se deosebește intrinsec de altul, decît cel mult prin neregularitățile locale, în-
tîmplătoare și lipsite de orice semnificație cosmică.

¹ Vezi cap. I, p. 28.

² Vezi Anexa, III, ec. 37.

Pe o hipersuprafață cu trei dimensiuni, geometria lui Riemann permite definirea unei „curburi” prin generalizarea curburii lui Gauss, definită pentru suprafețele obișnuite: în cazul general, această curbura depinde atât de punctul ales, cât și de direcția aleasă. În cazul hipersferei, ea nu depinde însă nici de punct, nici de direcție, ci este o constantă caracteristică a varietății; și, deoarece ea este pozitivă, definește o „rază de curbura” analoagă întru totul razei sferei. Între această rază, densitatea cosmică și constanta Λ există relații determinate de ecuațiile cîmpului¹.

În acest spațiu, în care nu există drepte, lumina se propagă de-a lungul liniilor care indică drumul cel mai scurt, geodezicele, analoage cercurilor mari ale sferei; aceste linii sînt curbe închise. Un impuls luminos poate să facă deci înconjurul lumii și să revină în punctul de plecare.

Volumul Universului, ca și circumferința lui sînt finite. Aceste mărimi sînt determinate de valoarea densității cosmice și de proprietățile geometrice ale spațiului, dar nu în mod univoc. Trebuie introdusă deci o ipoteză suplimentară privind topologia spațiului; dacă îl presupunem scufundat într-un spațiu euclidian cu patru dimensiuni, nu există decît o singură soluție: varietatea „sferică”. Dar cum ipoteza spațiului euclidian cu patru dimensiuni este arbitrară, mulți autori preferă o altă soluție numită „eliptică”, deși ea este imposibil de imaginat; ea diferă de prima soluție prin aceea că punctele „antipozi” sau diametral opuse din varietatea „sferică” se identifică în cea de-a doua soluție. În varietatea eliptică, circumferința lumii și volumul ei sînt de două ori mai mici decît în varietatea sferică².

În Universul lui Einstein, curbura spațiului nu afectează timpul; deosebirea intrinsecă dintre timp și spațiu, pusă în discuție de geometria locală a teoriei relativității restrînse, este deci restabilă la scară cosmică. Un timp universal se scurge uniform în orice punct al Universului einsteinian, de la minus infinit la plus infinit, fără ca vreun anumit moment să se distingă intrinsec de oricare altul. Aceasta este o consecință a ipotezei repausului cosmic, în virtutea căreia este posibil să se aleagă un sistem de coordonate în raport cu care viteza medie a materiei este peste tot și în mod constant nulă; aceasta este legată de asemenea de faptul că ecuația cîmpului modificată permite definirea unui sistem cosmic de inerție.

¹ Vezi Anexa, VI, ec. 62.

² Vezi Anexa, IV, ec. 43, 2 și IV, ec. 53.

Uneori se exprimă această particularitate a Universului einsteinian spunându-se că spațiu-timp-ul este aici „cilindric”, expresie care nu figurează în *Kosmologische Betrachtungen* ale lui Einstein. Spațiul este curbat și închis, întocmai ca cercul de la baza unui cilindru; timpul însă este „drept!” și deschis ca axa unui cilindru. Pe cilindru, traiectoriile particulelor se înfășoară ca niște elice, traiectoriile luminii fiind cele al căror pas este cel mai mic.

B. Sursele profunde ale cosmologiei secolului al XX-lea

Acestea sînt *Kosmologische Betrachtungen*; și, cu toate ocurile drumului, se descoperă o minunată armonie între scop și mijloace, între fizica locală și fizica cosmică, în sfîrșit, între geometria Universului și filozofia autorului său.

Totuși, după patruzeci și cinci de ani, acest memoriu uimitor nu apare astăzi atît ca rezultatul și încununarea edificiului conceptual al teoriei relativității, cît ca un punct de plecare — ba chiar o falsă plecare — nu mai puțin, dar nici mai mult decît o genială deschidere spre un nou cîmp de meditație matematică, și o reînviere a unora din cele mai vechi dezbateri asupra naturii.

Rezultatul acestei prime tentative cosmologice este într-adevăr ambiguu. Dacă se confruntă mai întîi exact intenția cu rezultatul, așa cum nu a întîrziat să dovedească de Sitter, trebuie să spunem că este vorba de un eșec. Într-adevăr, contrar în ceea ce credea Einstein, modificarea ecuațiilor cîmpului nu exclude *ipso facto* orice soluție vidă și nu face imposibilă din punct de vedere matematic ipoteza unui spațiu-timp structurat metric din care orice materie ar fi exclusă; aceasta contrazice însă evident cerința determinării complete a geometriei cosmice de către conținutul material al Universului.

Consecvent cu sine însuși, cînd s-a convins că nu a ajuns în căutările sale acolo unde dorea, Einstein a abandonat meditația cosmologică timp de mulți ani; dar atunci cînd a revenit la ea, a făcut-o, așa cum vom vedea, cu principii sensibil diferite.

Dealtfel, între timp, nu numai rezultatul *Considerațiilor cosmologice*, dar chiar și problematica de care au fost inspirate a fost depășită pe nesimțite de dezvoltarea științei, așa încît cititorul care revine la ele în prezent nu poate să nu fie izbit de aspectul „clasic” al problemelor, al ipotezelor, al raționamentelor. Problema inerției era pentru Einstein, în 1917, problema centrală,

iar proiectul filozofic dominant răminea acela de a degaja știința fizică de orice ontologie¹ a materiei sau a spațiului. Adversar al mecanicismului, a cărui incapacitate de a furniza concepte corespunzătoare spiritului științei moderne² a denunțat-o, Einstein i-a rămas totuși tributar, așa cum Descartes rămăsese tributar filozofiei scolastice.

După un interes din ce în ce mai scăzut față de problema inerției, cosmologii generației contemporane au readus-o la ordinea zilei: aceasta pentru a constata că, în această privință, eșecul lui Einstein nu a fost reparat și că nu s-a ajuns să se dea principiului relativității inerției o expresie matematică perfect satisfăcătoare³. Unii autori, ca Hoyle, sînt înclinați să tragă tocmai de aici concluzia că acest principiu nu este în cele din urmă de prea mare interes. Chiar dacă el este adevărat, valoarea sa euristică, fecunditatea sa deductivă rămîn foarte limitate.

În lucrarea lui Descartes *Principes de la Philosophie*, inerția corpurilor este dedusă, după cum se știe, din imuabilitatea acțiunii divine⁴. Pentru Einstein, ca și pentru Mach, excluderea oricărei noțiuni teologice de acest fel din fundamentele științei, prin constituirea matematică a conceptului de inerție la nivelul interacției fenomenale era o sarcină filozofică de cea mai mare importanță. Dar de la Einstein la Hoyle se produce o transformare poate mai decisivă: inerția încetează de a mai fi o problemă centrală...

De ce? Fără îndoială aceasta este una dintre consecințele unei dezvoltări generale a științei fizice care o face să acorde din ce în ce mai mare importanță, atît pe plan teoretic cît și pe plan experimental, radiației în raport cu mișcarea. Pentru a rămîne la astronomie, este clar că de acum înainte cea mai mare parte a informațiilor sale provin din analiza radiației stelare sau a radiațiilor cu lungime de undă mare care își au sursa în structurile cele mai variate. În ceea ce privește viața stelelor, radiația joacă și în acest caz un rol la fel de important ca fenomenele dinamice în sens restrîns.

În 1917, filozofia științei fizice se găsea încă sub autoritatea mecanicii cerești, în care Einstein căuta dealtfel una din rarele confirmări experimentale posibile ale teoriei relativității generalizate.

¹ Einstein are în vedere aici concepția substanțialistă a materialismului modern asupra materiei și spațiului. — N.R.

² A. EINSTEIN, L. INFELD, *L'Évolution des idées en Physique*, trad. Solovine, Flammarion, Paris, 1938.

³ H. BONDI, *Cosmology*, U.P. Cambridge, ed. a II-a, 1960, cap. IV.

⁴ *Principes*, partea a II-a, §§ 35—37.

Dar după cincisprezece ani de la considerațiile cosmologice ale lui Einstein, atunci cînd problema cosmologiei newtoniene va fi readusă la ordinea zilei de noua generație de cosmologi, va reieși că adevărata superioritate — în acest sens — a teoriei relativiste se manifestă atunci cînd este vorba de înțelegerea deplasării spre roșu : deoarece nu dispunea de nici o relație necesară între dinamică și electromagnetism, teoria newtoniană nu permitea nici o deducție în ceea ce privește raportul dintre starea dinamică a sistemului cosmic și proprietățile luminii¹.

Există și un al doilea punct, mai evident, în care problematica *Considerațiilor cosmologice* a fost destul de repede depășită : este vorba de faptul că ipoteza repausului cosmic a devenit caducă, sau cel puțin îndoielnică, în urma descoperirii deplasării spre roșu a nebuloaselor. Sugerată de faptul că vitezele stelare sînt mici în raport cu viteza luminii, această ipoteză are de fapt rădăcini mai adînci, pentru că se întîlnește în filozofia greacă, aflată la originea raționalismului occidental. Rolul său determinant în orientarea gîndirii einsteiniene apare destul de clar în *Kosmologische Betrachtungen*, înainte chiar ca aceasta să fi fost formulată în mod explicit. Ceea ce face inacceptabilă cosmologia newtoniană în ochii lui Einstein este faptul că teoria pe care se bazează aceasta este incapabilă să explice ce împiedică dispersarea sistemului lumii : pentru Einstein este subînțeles faptul că sistemul lumii, dacă se dispersează prin natura sa, este deja dispersat. El nu se oprește nici un moment la ipoteza că lumea ar putea fi în curs de dispersare și că noi am putea asista la un moment al acestei dispersări. Douăzeci de ani mai tîrziu, cosmologii și chiar Einstein însuși nu vor mai considera absurde modelele de univers în cadrul cărora am fi situați într-un moment determinat al unui proces de dispersare. Aceasta pentru că între timp descoperirea deplasării spre roșu a nebuloaselor proiectase săgeata timpului asupra Universului și pentru că Universul însuși din *Considerațiile cosmologice* apărea minat de o instabilitate secretă care îl făcea incapabil să persevereze în starea de repaus general în care Einstein dorise să-l plaseze.

Dacă este așa, dacă *Kosmologische Betrachtungen* nu oferă decît un răspuns nu tocmai adecvat unei probleme ale cărei date însele nu mai sînt cele luate în considerație de contemporanii ei, n-ar trebui oare ca această lucrare — destul de scurtă în raport cu

¹ H. BONDİ, *op. cit.*, p. 86. Cosmologia newtoniană nu explică deplasarea spre roșu decît dacă viteza luminii se compune „clasic” cu celelalte viteze, ceea ce este contrar electromagnetismului lui Maxwell.

opera imensă, cantitativ și calitativ, a autorului ei — să fie pur și simplu neglijată, așa cum a făcut-o, dealtfel, el însuși?

Dar tocmai aici intervin ambiguitățile și meandrele istoriei. Dacă memoriul din 1917 a rămas totuși un element de primă importanță în această operă, aceasta se datorește unui dublu motiv. Primul dintre ele este următorul :

În afara motivelor particulare ale lui Einstein, evoluția însăși a gândirii relativiste ducea la repunerea în discuție a Universului, iniția o reîntoarcere la vechea înțelegere cosmologică a filozofiei naturii pe care venirea la putere a fizicii pozitive o trecuse în umbră fără a-i înlătura însă cauzele. Evidențierea inaptitudinii științei clasice de a promova o reprezentare coerentă a Universului în întregime era unul din aspectele marii crize a gândirii științifice de la începutul acestui secol. În acest domeniu, ca și în altele, deși poate că aici cu mai puțin succes și strălucire, Einstein îndeplinea misiunea de a face să izbucnească scandalul și de a reinventa atât problema, cât și soluția.

Pe de altă parte, marea schimbare a decorului cosmic, vălul ridicat de pe „regatul nebuloaselor” va pune într-o lumină vie încercarea lui Einstein, nu fără ca enigma matematică apărută în căutarea soluțiilor cosmice posibile ale ecuațiilor câmpului să fi jucat, pe altă cale, un rol stimulator : tocmai acest aspect al istoriei științei fizice este bine reliefat de dezvoltarea cosmologiei contemporane. Formalismul matematic are un fel de putere distructivă în ceea ce privește tocmai intuițiile pe care a fost inițial fondat ; o formulă construită în modul cel mai clasic și mai nevino-vat poate fi sursa unor aparente paradoxuri, adică a unor idei noi.

Problema cosmologică trebuia să reînvie, într-un mod sau altul ; pentru că, deși Einstein nu o pusese și nici nu o rezolvase în mod total satisfăcător în 1917, nu i-au lipsit în acest domeniu nici urmașii și nici emulii.

Am relevat acel pasaj din *Kosmologische Betrachtungen* în care Einstein are în vedere faptul că în final se dovedește imposibil să se definească în general, în mod independent de problemele locale, condițiile la limită pe care ar trebui să le satisfacă la infinit soluțiile ecuațiilor câmpului : el nu vrea să se alăture unei asemenea ipoteze decât în ultimă instanță și în disperare de cauză. Desigur, temperamentul său filozofic, atașamentul său față de principiul raționalității naturii sînt parțial responsabile de această profesiune de credință. Aceasta ar fi mai puțin energică și mai puțin explicită dacă tocmai unitatea naturii, sau chiar însăși ideea de Univers, nu ar fi amenințate de consecințele inevitabile ale concepției relativiste a fizicii.

Întreaga epistemologie clasică, chiar în formele sale cele mai puțin raționaliste, se sprijinea pe postulatul că spațiul euclidian, cu tripla sa infinitate și cu proprietățile sale metrice deosebit de simple, și timpul lui Galilei — uniform, liniar, infinit — au un sens ontologic și nu sînt simple reprezentări convenționale ale multiplicității fizice corespunzătoare. Fără îndoială valoarea ontologică a acestor forme abstracte era în discuție din momentul în care ele au început să formeze noua imagine a naturii, după prăbușirea fizicii calitative și a cosmologiei precoperniciene.

Dar dacă la Leibniz, spre exemplu, spațiul și timpul sînt eliberate de orice valoare materială, nu sînt mai puțin legate de o structură metafizică a cărei aparență relațională sînt. Multiplicitatea calitativă a indivizilor și a momentelor istoriei lor, calculul divin care îi ordonează dau acestei aparențe un fundament ontologic suficient. Or, cu toate incursiunile lui Leibniz în domeniul *analysis situs*, ideea că o multiplicitate continuă poate fi dotată cu o metrică arbitrară nu se putea forma în mod clar în secolul al XVIII-lea. Garanția metafizică dată multiplicității spațio-temporale se raportează astfel la proprietățile topologice și metrice ale spațiului euclidian și ale timpului galileian. Și atunci cînd garanțiile metafizice au devenit îndoielnice, ele au fost înlocuite de succesele răsunătoare ale mecanicii cerești.

Astfel, la Kant, reducerea spațiului și timpului la rolul unor forme apriorice ale sensibilității, oricît de „coperniciană” din punct de vedere metafizic, nu are în final decît consecințe epistemologice limitate. Fără îndoială știința pierde dreptul de a pretinde desăvîrșirea sintezei cosmologice, dar aceasta este de mică importanță față de imensul avantaj de a vedea structurile sale matematice esențiale supraviețuind ruinării metafizicii deductive. Fizicianul și astronomul trebuie să renunțe desigur la cosmologie, dar oricît de departe și-ar arunca privirea sau și-ar trimite gîndurile, unitatea transcendențială a spațiului și timpului le asigură conexiunea geometrică și corelații cinematice și dinamice, reglate de legi invariabile între fenomenele cele mai apropiate și cele mai îndepărtate.

Fizicianul criticist și apoi cel pozitivist se vor găsi atunci într-o postură favorabilă pentru a pretinde că nu vor să știe nimic din ceea ce depășește experiența reală sau posibilă, că se abțin de la orice speculație care trece dincolo de ceea ce este observabil. Înaintea teoriei relativității, astfel de declarații nu puteau fi luate cu totul în serios: posibilitatea de a trasa o linie dreaptă între două puncte oarecare din Univers, posibilitatea ca teorema lui Pitagora să fie adevărată în centrul Soarelui, nu sînt deloc aserțiuni experimentale, și ar trebui precizat în mod serios sensul cu-

vintelor „experiență posibilă” pentru a ști dacă astfel de posibilități au acest sens. Ele nu erau totuși suspectate ca „metafizice” și oricine se putea sprijini pe ele când avea nevoie, mai ales pentru a afirma că știința nu poate face generalizări decât prin inducție...

Toate îndemnurile la prudență ale spiritului științific nu puteau avea întâietate față de aserțiuni îndrăznețe cum ar fi : spațiul este pretutindeni euclidian, timpul pretutindeni uniform ; un orologiu cosmic bate secunda pentru întreg Universul ; un echer mare marchează unghiul drept la scara astrilor, asemănător geometric cu echerul infinitezimal care permite reperarea incidenței razei luminoase pe suprafața moleculei. Un fel de panteism al măsurătorii proteja în mod secret agnosticismul metafizic al fizicianului de ameteala sceptică. *Primum movens* al lui Aristotel suportase prost reforma dinamicii ; un *primum metiens* îi luase locul, dar și acesta va suferi mult din pricina teoriei relativității.

Cu această teorie, geometria naturală devine, într-adevăr, locală ; acesta este prețul indiscutabilului progres în raționalizarea experienței fizice pe care o reprezintă „geometrizarea” dinamicii. Capabilă de a absorbi teoria gravitației, bazată pe axiome destul de generoase pentru ca misterioasa „atracție” a lui Newton să devină un simplu fenomen cinematic, geometria spațiului fizic își pierde, odată cu frumoasa sa simplitate euclidiană, și puterea de a lega, într-un același aparat formal, infinitul mic și infinitul mare.

La drept vorbind, practica conceptuală a științei clasice, dacă nu filozofia sa, conducea la această ultimă consecință : legile fizice sînt diferențiale : relațiile definite local, de la un punct și un moment date la punctul și momentul infinit apropiate, sînt mai universale, mai simple, mai riguroase decât relațiile integrale a căror cunoaștere presupune definirea condițiilor la limită și a căror aplicare este supusă hazardului extrapolării. Dar dacă spațiul este o existență fizică, de ce ar face relațiile geometrice excepție de la această regulă ?

După cum se știe, Gauss luase în serios problema de a ști dacă spațiul fizic este euclidian¹, la numai cîțiva ani după ce raționalismul revoluționar dăruise lumii cea mai durabilă din instituțiile sale : sistemul metric. (La sfîrșitul aventurii napoleoniene, rămînea îndoielnic dacă ființa supremă preferă judecători aleși sau prefecți numiți, cetățeanul sau statul, dar nu și că omul poate păstra și transporta pretutindeni o entitate geometrică, absolută, care să fie întotdeauna o mărturie a unei proporții definite între

¹ W. HEISENBERG, *Physique et Philosophie*, Albin Michel, Paris, 1961, p. 205.

pasul său și dimensiunile locuinței sale cosmice). Măsurătorile lui Gauss puteau fi de altfel liniștitoare; teoremele euclidiene sînt verificabile experimental; a patruzecia milioana parte din meridianul terestru nu este o fantasmă. Aceasta nu era totuși decît o remiză: Gauss demonstrase numai că la scara colinelor din Germania geometria lui Euclid este o excelentă aproximație.

Dacă însă geometria devine locală, ca și fizica, cum se mai poate vorbi de Univers? Și unde se găsește această „bază de uniformitate”, cum spune Whitehead, fără de care probabil că nici o știință nu este posibilă? Primii relativiști, dacă nu chiar Einstein, au pus în evidență consecințele extraordinare la care poate duce abandonarea postulatului clasic după care structura metrică euclidiană, sau în orice caz cea minkowskiană, este valabilă pretutindeni în Univers.

Spre exemplu, dacă prezența materiei produce local o curbură pozitivă a spațiului și această curbură este o funcție crescătoare de masa prezentă local, o cantitate suficient de mare de materie destul de densă poate provoca închiderea locală a unei părți din spațiu, rupind astfel conexiunea spațiului fizic, făcînd imposibilă orice comunicare, orice interacție între acest spațiu local izolat și restul Universului. Eddington a calculat că o sferă de apă cu raza de cinci sute șaptezeci de milioane de kilometri (volum destul de mic la scara cosmică) ar fi un spațiu închis, fără centru sau margine. Nici o rază luminoasă, nici o acțiune fizică n-ar putea intra sau ieși din ea; în sens brut, acesta ar fi un Univers, fără nici o legătură cu restul¹.

La rîndul său, Weyl subliniază ciudatele consecințe pe care le implică posibilitatea unei metrici riemanniene absolut generală pentru spațiul fizic. Căci, remarcă el, Universul nu poate fi numit o „multiplicitate cvadridimensională” decît într-un anumit sens foarte precis: pentru orice punct din Univers există o vecinătate care se poate reprezenta în mod continuu printr-un ansamblu de sisteme de patru numere. Dar aceasta nu împiedică ca proprietățile topologice ale unei regiuni finite a spațiu-timp-ului să poată fi, ca și cele ale suprafețelor cu două dimensiuni, extrem de variate.

În particular, conurile viitorului și trecutului care pleacă din fiecare punct pot să se intersecteze unul cu altul (ceea ce este imposibil în spațiu-timp-ul „plat” al lui Minkowski), o linie de univers, chiar de gen temporal, poate reveni în vecinătatea unui punct prin care a trecut deja: presupunere destul de gratuită, recunoaște Weyl, pentru că în regiunea din Univers pe care o cunoaștem,

¹ A.S. EDDINGTON, *Espace, Temps, Gravitation*, Hermann, Paris, 1921, p. 184.

variabilitatea metricii spațio-temporale nu este destul de mare pentru a face posibile asemenea reîntoarceri. Dar aceasta nu îl împiedică să tragă concluzia că „oricît de paradoxale ar putea fi lucrurile, nu vor apare niciodată contradicții cu faptele care formează experiența noastră imediată”¹.

Într-un mod mai clar decît „picătura de apă” a lui Eddington, aceste remarci ale lui Weyl pun în evidență consecințele neobișnuite la care conduc raționamentele relativiste atunci cînd sînt duse pînă la capăt : certitudinile fizice sînt strict locale, nu există nici o evidență geometrică garantată dincolo de o vecinătate ale cărei limite sînt imposibil de definit aprioric ; Universul nu este decît o presupunere hazardată. Pluralismul și empirismul cele mai extremiste pot să-și dea frîu liber cu consimțămîntul geometrului...

Or, pe de altă parte, gîndirea relativistă, datorită personalității inițiatorului ei și motivelor cercetării sale, era mai curînd, după cum dovedesc *Kosmologische Betrachtungen*, monistă și raționalistă. Poate că nimeni după Laplace nu mai crezuse atît de mult în Univers ca Einstein. Există deci în interiorul sistemului conceptual al relativității un fel de fisură.

Aici se găsește fără îndoială ceea ce motivează profund, dincolo de problematica particulară a lui Einstein, moștenită de la Mach și determinată parțial de critica mecanicismului, renașterea interesului pentru problema Universului în al doilea sfert al secolului al XX-lea. Conceptul de univers trebuia pus în discuție, problema reprezentării sale matematice trebuia să fie pusă, o dată ce se stabilise că geometria euclidiană și cinematica galileiană nu mai puteau furniza cu siguranță *substratum*-ul metric indispensabil descrierii fenomenelor fizice.

C. Deschiderea lui de Sitter : o nouă reprezentare a Universului

La mai puțin de două luni după publicarea lucrării lui Einstein, *Kosmologische Betrachtungen*, de Sitter pune în discuție rezultatul obținut și deschidea un drum nou în dezbaterile Universului². Așa cum se întîmplă deseori în împrejurări de acest fel, istoria este

¹ H. WEYL, *Temps, Espace, Matière*, Blanchard, 1921, reeditată în 1958, Paris, pp. 239—241. Gödel va exploata, mult mai tîrziu, aceste remarci în cosmologie ; vezi mai departe, p. 264

² Lucrarea *Kosmologische Betrachtungen* a fost prezentată în ședința din 8 februarie 1917 a Academiei din Berlin. Memoriul lui de Sitter a apărut în același an în numărul din 31 martie al Comunicărilor Academiei de Științe din Amsterdam.

chiar puțin nedreaptă dindu-i prioritate absolută lui Einstein în acest domeniu, pentru că dialogul dintre el și de Sitter în legătură cu problema inerției începuse din 1916, așa cum Einstein a menționat în mod expres în *Considerațiile cosmologice*: în parte tocmai pentru a răspunde provocării lui de Sitter căutase Einstein cu atâta îndrjire soluții ale ecuațiilor câmpului compatibile cu principiul relativității inerției și demonstrase totala lor imposibilitate (lucru de care de Sitter era convins dinainte).

Oricum ar fi, de Sitter a scos în evidență clar fragilitatea deducțiilor lui Einstein, demonstrând că ecuațiile câmpului în noua lor formă, cu termenul Λ , admiteau o altă soluție decât cea a lui Einstein dacă se presupunea că spațiu-timp-ul este *vid*. Această soluție va deveni celebră sub numele de „modelul lui de Sitter”. Spre deosebire de modelul lui Einstein, ale cărui proprietăți geometrice sînt atît de simple și de armonioase, Universul lui de Sitter a apărut mult timp ca o adevărată ciudățenie matematică. El ascundea atîtea enigme și suscita atîtea miraje încît chiar și Einstein și Weyl s-au lăsat furați de el și i-au atribuit la un moment dat anumite proprietăți imaginare.

Dar, în parte tocmai din pricina acestei ciudățenii, în parte din alte motive, discuția completă a modelului lui de Sitter a reținut atenția tuturor teoreticienilor cosmologiei ani de zile: Einstein, Friedman, Eddington, Lemaître, Lanczos, Tolman au participat la ea și de-abia în 1929 Robertson și Weyl i-au pus capăt, mulțumită unei clarificări esențiale în toate privințele a postulatelor cosmologiei relativiste. Asupra tuturor acestor lucruri vom reveni, dar mai întîi, ne reține atenția gîndirea lui de Sitter.

Există într-adevăr o corespondență destul de remarcabilă între proprietățile enigmatice ale modelului și spiritul în care acesta a fost conceput. Nu că de Sitter ar fi dorit să stimuleze spiritul matematicienilor alegînd deliberat o metrică plină de surprize; el își prezintă formulele cu toată nevinovăția, paralel cu cele ale lui Einstein, fără să pară că bănuiește toate dificultățile pe care le ascund¹. Dar motivarea intervențiilor sale este de așa natură încît nu ne mirăm de surprizele la care acestea ne conduc.

Într-adevăr de Sitter, fără o aparentă intenție polemică, dar cu o remarcabilă luciditate — care, în anumite pasaje, pare să dovedească pur și simplu scepticism — minează profund bazele edificiului cosmologic al lui Einstein; după el, ipotezele cosmologice ale lui Einstein nu pot fi considerate cu adevărat relativiste. Sfe-

¹ W. DE SITTER, *On the Relativity of Inertia; Remarks Concerning Einstein's Latest Hypothesis*, Koninklijke Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 19, 1917, pp. 1217—25.

ricitatea spațiului nu poate fi considerată drept o afirmație realistă : ceea ce contează din punctul de vedere al relativității, nu sînt proprietățile „reale” ale modelului, ci comportarea sa la transformările matematice :

„La prima vedere, pare inexact să spunem : Universul *este* sferic, pentru că el poate, printr-o transformare analoagă proiecției stereografice, să fie reprezentat într-un spațiu euclidian”. Or, o astfel de transformare este permisă, pentru că ea lasă invariante cantitățile care trebuie să rămînă astfel.

Pe de altă parte, de Sitter se leagă și de „școala lui Mach”. Einstein, spune el, populează cu materie ansamblul spațiului tri-dimensional, dar cantitatea de materie necesară pentru aceasta ar fi enormă în raport cu cea pe care o cunoaștem (de Sitter era astronom); aceasta revine deci la a introduce o nouă ipoteză, aceea a unei „materii cosmice” care nu apare decît în virtutea postulatului lui Mach, pentru că ignorăm aproape totul în legătură cu aceasta. La întrebarea : dacă se suprimă toată materia cu excepția corpului de probă, va avea oare acest corp inerție ? „școala lui Mach” răspunde prin Nu. Totuși, obiectează de Sitter, dacă prin „toată materia” trebuie să înțelegem aștrii pe care îi observăm, răspunsul este mai curînd Da. „Școala lui Mach” este deci constrînsă să admită ipoteza existenței materiei cosmice; dar la ce servește în final această materie, se întreabă de Sitter destul de subtil, dacă nu la a presupune că ea nu există ?...

Este greu să ne pronunțăm asupra acestei critici a lui de Sitter. Într-un sens, trebuie spus că el nu are dreptate, pentru că telescopul Hooker va aduce, cîțiva ani mai tîrziu, o confirmare atît de spectaculoasă a „materiei cosmice”. Și totuși, critica merge la baza lucrurilor, evidențiind un atașament destul de profund al lui Einstein pentru intuițiile pe care se sprijinea mecanicismul. Einstein, cu franchețea sa obișnuită, confirmă el însuși acest atașament; primind de la de Sitter manuscrisul memoriului său, el răspunde că, după părerea sa, nici măcar nu se poate concepe o lume fără materie, „. Dimpotrivă, cîmpul coeficienților $g_{\mu\nu}$ trebuie să fie determinat de materie și să nu poată subzista fără ea”¹. Se regăsește aici, pe scurt, intransigența lui Descartes împotriva ideii de vid. Dar, mult mai tîrziu, Einstein va profita de critica lui de Sitter.

Ultima critică pe care o adresează de Sitter lui Einstein — poate cea mai importantă — se referă la legătura dintre spațiu și timp : în Universul lui Einstein, timpul ocupă un loc aparte, astfel încît soluția lui nu satisface integral exigența maximă de covarianță

¹ Acest pasaj este subliniat în textul care este citat de însuși de Sitter în postscriptumul memoriului pe care îl examinăm.

a teoriei relativității. Într-adevăr, transformînd prin proiecție stereografică spațiul sferic al lui Einstein, de Sitter arată că partea spațială a metricii se anulează la infinit, așa cum și trebuie, dar nu același lucru este valabil pentru coeficientul lui dt^2 , ceea ce limitează invarianța la transformările pentru care $t' = t$. Există deci un timp cosmic absolut, fapt în legătură cu care de Sitter nu are nici o obiecție de făcut pe plan fizic, dar pe care îl găsește puțin satisfăcător din punct de vedere matematic, date fiind axiomele pe care este construită teoria relativității.

Ce va rezulta din această critică? Consecințele nu sînt pur negative pentru că de Sitter propune, plecînd de la ea, o soluție de înlocuire, mai conformă după el spiritului teoriei relativității. Dar cum el nu este mai dogmatic în construire decît în demolare, prezintă pe două coloane, în maniera antinomiilor lui Kant, cu formule astfel alese încît să evidențieze în mod clar similitudinile și diferențele, cele două soluții posibile, cea a lui Einstein — sistemul A — și a sa proprie — sistemul B. Preferința sa pentru cea de-a doua se exprimă în mod discret; motivele sale sînt strict matematice.

De fapt el se abate foarte puțin, formal, de la metrica lui Einstein, doar atît cît trebuie pentru ca transformînd metrica prin proiecție stereografică, toți coeficienții, inclusiv cel al lui dt^2 , să se anuleze la infinit. Această modificare are consecințe mult mai importante și mai profunde decît au văzut de Sitter și Einstein în acel moment. Există totuși una care le-a apărut foarte clar și a cărei semnificație epistemologică este evidentă: alegerea soluției B (cea a lui de Sitter) duce la o oarecare disjuncție între postulatele fizice și axiomele matematice ale teoriei relativității; căci, evident, în modelul B, care este vid, principiul relativității inerției nu mai este îndeplinit pentru că există o structură metrică fără ca să existe materie. Dar de Sitter nu era dispus să fie de acord cu Einstein că acest fapt este suficient pentru a exclude soluția sa din cadrul conceptual al relativității. După el, există două moduri de a înțelege postulatul relativității inerției: cel al lui Einstein și al său, pe care îl consideră inatacabil din punct de vedere matematic, chiar dacă nu are semnificație fizică evidentă. El se explică în acest sens pe scurt în post-scriptumul memoriului său din 1917 și mai pe larg într-un articol ulterior¹.

Postulatul lui Einstein este că tensorul metric trebuie să fie complet determinat de către materie. De Sitter îl numește *postulatul material* al relativității inerției, iar principiul pe care vrea el

¹ On Einstein's Theory of Gravitation and Its Consequences, M.N.R.A.S., 78, 1917—18, p. 28.

să-l aplice, ca toate componentele tensorului metric să fie nule la infinit, îl numește *postulatul matematic* al relativității inerției; diferența de adjective exprimă clar diferența punctelor de vedere: Universul lui Einstein este o ipoteză ontologică, un concept de filozof și de fizician; de Sitter îi opune o idee de geometru. Astfel soluția B nu este propusă dogmatic drept o reprezentare superioară din punct de vedere fizic; de Sitter pretinde numai că rămîne mai strict fidel unei anumite axiomatici.

Independent de faptul că Universul pe care îl propunea el nu putea avea, în teoria relativității, decît sensul fizic al unui caz limită, pentru că era vid, exista în raționamentul lui de Sitter ceva bizar. El menținea într-adevăr în ecuațiile cîmpului termenul Λ , privindu-l însă de semnificația prin care Einstein îi motivase prezența. Satisfacerea „postulatului matematic” al relativității inerției era un cîștig, dar compensa oare acest cîștig pierderea corespunzătoare? De Sitter însuși admitea că „nu se poate nega că introducerea constantei Λ este oarecum artificială și alterează simplitatea și eleganța teoriei originale din 1915, care avea printre trăsăturile cele mai fermecătoare pe aceea de a îmbrățișa totul fără a introduce nici o nouă constantă cosmică”¹.

Sacrificiul putea fi suportabil dacă avem în vedere profunzimea pătrunderii (*insight*)² în natura Cosmosului, profunzime care părea să rezulte din el. Devenea mai puțin suportabil cînd beneficiul obținut se rezuma la introducerea unei structuri matematice a cărei semnificație fizică rămînea îndoielnică...

Modelul lui de Sitter era astfel marcat de la început de un fel de nelegitimătate epistemologică; de aici înfățișarea atît de ciudată la prima vedere a acestui model și rolul jucat de discutarea proprietăților sale în elaborarea principiilor cosmologiei moderne. În ceea ce privește adevăratul său sens fizic, el nu s-a revelat decît mult mai tîrziu: este vorba de generarea continuă de materie într-un Univers infinit, aflat în expansiune indefinită, și totuși mereu identic sieși în înfățișările sale la scară mare.

D. Enigmele Universului lui de Sitter și învățămintele ce se pot trage din el

În orice caz, după cum se știe, proprietățile Universului lui de Sitter au părut mult timp enigmatice și faptul că unui geometru atît de eminent ca Weyl i-a trebuit un anumit timp pentru a-l

¹ *Ibid.*, p. 18.

² În limba engleză, în original. — N. T.

înțelege, și încă mai mult pentru a se face înțeles, reprezintă o ocazie remarcabilă de mirare și instruire pentru istoric.

Dacă se iau în considerație motivele matematice ale acestor îndelungate tatonări în studiul unei geometrii care pare astăzi lipsită de orice mister, ele sînt cu atît mai surprinzătoare cu cît se referă în parte la alegerea coordonatelor care fuseseră preferate la început pentru studiul modelului : această alegere rezulta din efectul de simetrie pe care îl căutase de Sitter în Universul lui Einstein și avea tendința de a masca cele mai importante proprietăți intrinseci ale structurii¹. Totuși calculul tensorial a fost special creat pentru a face geometria independentă de alegerea coordonatelor ; dar tocmai prin perfecțiunea sa acest instrument algebric poate șterge detaliile semnificative din punct de vedere fizic al unei anumite structuri.

În ceea ce privește Universul lui de Sitter, mai multe motive, strîns legate unul de altul, contribuie la mascarea a ceea ce ar fi fost oportun să se vadă.

1. De Sitter dorise să-i răspundă lui Einstein ; căutînd un contraexemplu, el l-a prezentat astfel încît să reiasă un fel de simetrie între cele două reprezentări ale Universului. Mult timp s-a admis implicit că acestea erau cele două soluții alternative ale problemei cosmologice și nimeni nu a remarcat înaintea lui Friedman, care nu a fost citit și înțeles decît mai tîrziu, că există o infinitate de soluții avînd proprietățile de simetrie și de omogenitate ale primelor două soluții. Aceasta conduce direct la al doilea motiv.

2. Einstein postulase că materia este statistic în repaus și, în consecință, că tensorul metric al varietății riemanniene a Universului este independent de variabila timp. Or, cu tot radicalismul său, și poate tocmai din cauza lui, critica lui de Sitter nu incrimina suficient de explicit dubla prejudecată care stătea la baza primei cosmologii a lui Einstein : că există un timp cosmic și că, raportată la acest timp cosmic, metrica spațiului este constantă. Poziția lui de Sitter era următoarea : în teoria relativității, nu este permis să se vorbească de un timp cosmic. Dar poziția „justă”, cel puțin cea pe care ar trebui să fie construită cosmologia relativistă și singura care ar putea face să se înțeleagă clar proprietățile Universului lui de Sitter, era următoarea : este permis să se distingă un timp cosmic, *dar*, raportată la acest timp cosmic, metrica spațiului nu este în general constantă și, în particular, nu este astfel în modelul lui de Sitter.

¹ Anexa, VI, ec. 66.

Așa încît, contrar gîndirii originare a lui de Sitter, pentru care această expresie nu putea, la propriu vorbind, să aibă sens, acest model a fost considerat inițial ca o soluție *statică* și era reprezentat în general într-un sistem de coordonate în care coeficienții metricii sînt toți independenți de timp¹. Chiar și Friedman îl mai prezenta în același mod. Dar modelul lui de Sitter nu este *static* în același sens ca cel al lui Einstein; el este, așa cum spune Couderc, „pseudostatic” sau, cum spune Robertson, „staționar”².

În plus, simetria echivocă și înșelătoare dintre cele două modele a făcut ca modelul lui de Sitter să apară ca spațial închis, în timp ce această proprietate nu aparținea intrinsec modelului. În Universul lui Einstein, nu este posibil să se aleagă coordonata temporală în așa fel încît spațiul să apară ca infinit. Dimpotrivă, o astfel de alegere este posibilă în Universul lui de Sitter; spațiul este atunci euclidian.

3. În sfîrșit, considerat ca soluție a ecuațiilor relativității generalizate, Universul lui de Sitter este vid. Or, acest fapt face ca separarea dintre spațiu și timp să nu mai fie determinată fizic. Cel care a remarcat cu profunzime acest lucru este Lemaitre: „Prezența materiei are ca efect determinarea unei separări naturale a Universului în spațiu și timp”³. Lăsînd pentru moment la o parte problema de a ști dacă această separare poate fi *cosmică*, este evident că o existență fizică durează și că, asociînd acestei existențe sau uneia din părțile sale un observator considerat în repaus, se poate întotdeauna distinge o variabilă temporală în *continuum*-ul metric. În vid, lipsește orice pretext ontologic pentru a alege în oricare loc o separare oarecare între spațiu și timp, în afară de cazul cînd se recurge la o pură convenție.

Pentru a face lucrurile mai clare, vom introduce, în mod excepțional, în desfășurarea noastră cîteva remarci matematice.

Fie cele două metrici riemanniene⁴:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R_e^2(d\chi^2 + \sin^2\chi d\theta^2 + \sin^2\chi \sin^2\theta d\varphi^2), \quad (A)$$

$$ds^2 = c^2 \cos^2\chi dt^2 - R_s^2(d\chi^2 + \sin^2\chi d\theta^2 + \sin^2\chi \sin^2\theta d\varphi^2). \quad (B)$$

Metrica (A) reprezintă Universul lui Einstein, iar (B) — Universul lui de Sitter, în „aceleași” coordonate, așa cum se obișnuia să se scrie pînă în 1928. Se vede că atît (B) cît și (A) reprezintă

¹ Anexa, VI, ec. 66.

² Anexa, VI, B, 2.

³ G. LEMAITRE, *L'Hypothèse de l'atome primitif*, Grifon, Neuchâtel, 1964, p. 64.

⁴ Anexa, VI, ec. (61, 66).

sub această formă o metrică statică : coeficienții lui dt , $d\chi$, $d\theta$, $d\varphi$ sînt independenți de t (R_e și R_s sînt constante). Pe de altă parte, folosirea coordonatei unghiulare χ , care nu intervine decît prin funcții trigonometrice, sugerează ea însăși circularitatea, închiderea liniilor de spațiu alese drept coordonate. Metrica (B) pare deci să reprezinte, ca și (A), un Univers în care spațiul este închis ; singura diferență dintre cele două metrici este prezența termenului $\cos^2\chi$ în coeficientul lui dt^2 , în metrica (B). Dar această singură prezență este suficientă pentru a face înșelătoare analogia dintre (A) și (B). Rezultă, într-adevăr, că variabila t în (A) nu poate avea același sens geometric și fizic ca variabila t în (B) ; în (A), t este *timpul cosmic*, în (B) însă nu este *timpul cosmic*. Iată ce înseamnă aceasta :

În Universul lui Einstein (A), materia nu are, la scară mare, decît mișcări cu viteză mică și cu totul dezordonate ; din punct de vedere statistic, ea este în repaus. Rezultă că peste multiplicitatea timpurilor proprii pe care o antrenează local efectele relativității, se impune un timp cosmic de măsură universală : pe acesta l-ar măsura un orologiu asociat în permanență unui reper în care materia este în repaus mediu. Acest timp este desemnat de coordonata t în formula (A). Dar, în Universul vid al lui de Sitter, nici o caracteristică fizică nu permite să se distingă o astfel de coordonată de timp. Totuși, după Weyl, este posibil, așa cum vom vedea mai departe, să se aleagă o coordonată care, datorită proprietăților curbelor cărora le este asociată, este echivalentul *geometric* al timpului cosmic al Universului lui Einstein : dar *aceasta nu este coordonata t care figurează în (B)*.

Aici se află cauza tuturor consecințelor ciudate care se pot deduce din metrica (B). Să facem, spre exemplu, în (B), $\chi = \frac{\pi}{2}$. Pentru un observator situat în origine, aceasta corespunde ansamblului de puncte situate la o distanță egală cu un sfert din „circumferința lumii”. Pe această „hipersuprafață”

$$ds^2 = -R_s^2(d\chi^2 + d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2) \quad (B')$$

(pentru că atunci $\cos^2\chi = 0$, $\sin^2\chi = 1$).

Or, după o axiomă a teoriei relativității, pe traiectoriile razelor de lumină în vid trebuie să avem $ds = 0$; dar, după (B') aceasta nu se poate produce decît dacă $d\chi$, $d\theta$, $d\varphi$ sînt toate nule. Altfel spus, pe această hipersuprafață, nici lumina și nici o altă acțiune fizică

nu se pot propaga¹ : ea și cum o frontieră de netrecut ar bloca orice semnal și orice mișcare. Totuși, nimic nu distinge intrinsec această hipersuprafață în Univers ; poziția sa depinde într-adevăr de cea a originii, care este arbitrară : este vorba de un „orizont”.

Or, acest orizont nu are numai un sens geometric, ci și un sens dinamic : supunînd unei discuții riguroase, încă din 1918, modelul lui de Sitter — a cărui simplă posibilitate însemna eșecul cel puțin parțial al propriei sale cosmologii — Einstein remarcă faptul că singularitatea de pe „sferă” $\chi = \frac{\pi}{2}$ ducea la îndoieli în ceea ce

privește posibilitatea ca modelul lui de Sitter să reprezinte o soluție a problemei cosmologice. Einstein arată într-adevăr că, tradus în termeni dinamici, „orizontul temporal”, sau oprirea cursului lucrurilor pe hipersuprafața $\chi = \frac{\pi}{2}$, este echivalent cu o acumu-

lare de masă pe această „sferă” : Universul pe care de Sitter îl consideră vid, este vid în oricare altă parte, dar nu aici ; el nu este deci omogen și nu satisface postulatul uniformității pe care fiecare era de acord să-l pună la baza cosmologiei².

Toate acestea nu erau decît iluzii rezultate din falsa simetrie dintre (A) și (B). Dar aceste miraje nu s-au risipit decît încetul cu încetul, pe măsură ce s-a dezvăluit esențialul, și anume că metrica lui de Sitter este „pseudostatică”. Lanczos arătase, începînd din 1922, că „orizontul masei” al lui Einstein dispărea la o anumită schimbare de coordonate prin care metrica încetează de a mai fi statică³. Cam în același timp, așa cum am spus, Eddington și Wirtz înțeleseseră de-acum că *deplasarea spre roșu a nebuloaselor* era un efect sistematic și îi căutau explicația, fără succes dealtfel, în metrica lui de Sitter. Dar acestea nu erau deocamdată decît încercări lipsite de perspectivă și a trecut mult timp pînă cînd problema s-a maturizat.

Este adevărat că, în afara faptului că conceperea unui Univers nestatic se lovește de o prejudecată fundamentală a cărei prezență

¹ Pentru lumină condiția este $ds = 0$; pentru orice altă acțiune fizică, $ds^2 > 0$; vezi Anexa, II.

² *Kritisches zu einer von Herrn de Sitter gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen*, Sitzungsberichte der preussischen Akademie der Wissenschaften, 1918, pp. 270—272.

³ K. LANCZOS, *Bemerkungen zur de Sitterlischen Welt*, Physikalische Zeitschrift, 23, 1922, p. 336. În același timp, Eddington puna de asemenea în evidență caracterul pseudostatic al modelului, fără a propune totuși explicit o schimbare de coordonate pentru timp. El se arăta, dealtfel, mai puțin categoric decît Lanczos în ceea ce privește faptul că orizontul masei nu era în realitate decît un miraj.

activă am constatat-o deja la spiritele cele mai alese, ideea că o structură geometrică vidă ar putea fi nestatică nu se poate forma cu ușurință, datorită acelei intuiții elementare care asociază temporalitatea cu existența fizică. Singurul sens traductibil în termenii experienței fizice care i se poate da este probabil acesta : dacă în vidul cosmic se introduc corpuri de probă, ele vor tinde să se disperseze. Sau, pentru a folosi limbajul lui Weyl, în Universul lui de Sitter „o tendință naturală de dispersare este inerentă materiei¹”. Dar trebuia să fii Weyl pentru a înțelege și a spune aceasta ; pentru că nimic nu este mai contrar filozofiei naturale a relativității, așa cum o concepea Einstein, decât această noțiune a unui Univers vid dotat cu o structură potențială și determinând oarecum aprioric proprietățile dinamice ale materiei care se introduce în el, inducând în ea un fel de mișcare spontană.

Mișcare reală sau mișcare aparentă ? Cu Einstein, cosmologia se mai afla încă pe o bază solidă de intuiții realiste ; cu modelul lui de Sitter, ea era amenințată să alunece, dacă nu spre iluzionism, cel puțin spre idelism, care va deveni mai târziu una din tentațiile sale. Fără a fi propriu-zis static, fiind vid dar nu neutru, virtual activ asupra oricărei materii pe care am dori s-o punem în el, rezultat al unei aparente simetrii, soluție nelegitimă a unei ecuații nelegitime, Universul lui de Sitter era deci un curios complex de echivocuri, care purta totuși în el viitorul gândirii cosmologice. Este ușor de înțeles acum care era adevăratul conținut al acestei cutii cu secrete. Teoria stării staționare (*Steady State Theory*)² îi conferă semnificația fizică : generarea continuă de materie într-un Univers staționar, în care fiecare element se naște, trăiește și durează indefinit, dar în care înfățișarea ansamblului rămâne imuabilă. Dacă se refuză aceste consecințe, contrare axiomelor relativității generalizate, Universul lui de Sitter nu mai este decât cazul limită, la infinit în viitor, al unui anumit tip de univers în expansiune, așa cum a arătat Lemaitre.

Este mai puțin ușor de explicat cum și de către cine au fost descoperite cheile și deschise sertarele. În adevăr, dacă există, geometria și fizica Universului lui de Sitter nu puteau fi elucidate decât o dată bine definite datele și soluțiile problemei cosmologice. Pe de altă parte însă, această discuție de ansamblu trecea aproape în mod necesar prin studiul modelului lui de Sitter și este dificil din punct de vedere istoric să se discearnă între contribuția cercetărilor

¹ H. WEYL, *Zur allgemeine Relativitätstheorie*, Phys. Z., 24, 1923, p. 230.

² În limba engleză, în original. — N. T.

privind problema generală și a acelor care vizau în special acest model.

Se impun atenției patru nume: Friedman, Weyl, Lemaître și Robertson. Contribuția ultimilor doi este relativ ușor de caracterizat. Participarea lui Lemaître a fost importantă în discutarea modelului lui de Sitter¹ și el a explicitat după Friedman, dar independent de acesta, o soluție cosmologică nestatică a ecuațiilor lui Einstein. Dar principala sa contribuție originală a fost aceea de a asocia unui model matematic o viziune fizică și filozofică asupra lumii, apoi o cosmogonie, de a scoate „Universul în expansiune” din domeniul abstracției pure. În ceea ce privește memoriile lui Robertson din 1928 și 1929, ele reprezintă un fel de apoteoză, triumful clarității conceptuale și al eleganței geometrice, ascensiunea gândirii cosmologice la cel mai înalt grad de perfecțiune matematică de care era capabilă.

Dar în 1922–24 se juca o partidă mai dură. Friedman a fost primul care a propus soluția generală a problemei cosmologice în cadrul relativității generalizate și lui îi datorăm descoperirea capitală a faptului că, împreună cu ipotezele din lucrarea *Kosmologische Betrachtungen* a lui Einstein, ecuațiile relativiste ale câmpului se reduc la un sistem de două ecuații diferențiale care admit o infinitate de soluții, spațial deschise sau spațial închise, în care metrica spațiului este funcție de timpul cosmic. Opera sa a fost timp de mai mulți ani ignorată sau nerecunoscută. În afara unui evident ghinion (Einstein a citit primul memoriu al lui Friedman, s-a înșelat, s-a scuzat, apoi a tăcut timp de opt ani; când a vorbit din nou, opera lui Friedman era unanim recunoscută, dar autorul murise²), existau în construcția lui Friedman anumite imperfecțiuni și, mai ales, o anumită tăcere care explică în parte faptul că importanța sa nu a fost înțeleasă: Friedman nu spune nimic despre decalajul spectral al luminii care rezultă direct din ipoteza unei metrici nestatice și care dă cheia deplasării spre roșu a nebuloaselor.

Weyl, în schimb, a arătat clar în 1923, în legătură cu Universul lui de Sitter, că o metrică riemanniană implică în general un decalaj spectral al luminii și că în particular un astfel de decalaj spre roșu trebuie să se observe într-un Univers de Sitter. El dădea

¹ El a descoperit în 1925 transformarea de coordonate care, dând metricii lui de Sitter forma considerată de acum înainte canonică, a făcut ca modelul să apară nestatic și spațial euclidian, ceea ce l-a condus la a-l respinge ca reprezentare a lumii reale, nu pentru că era nestatic, ci pentru că era infinit... *Note on de Sitter's Universe*, J. of Math. and Phys., M.I.T., 4, 1925, pp. 188–192.

² În ceea ce privește această eroare a lui Einstein, cauzele și consecințele sale, vezi mai departe, p. 78.

pe de altă parte, în legătură cu acest model, o expresie ipotezei timpului cosmic, independentă de imaginea prea simplă și prea particulară a „materiei în repaus”¹. Dar în ciuda memoriului lui Friedman, pe care poate nu îl cunoștea, el persista în a considera că, în afara spațiu-timp-ului lui Minkowski, modelul lui Einstein și modelul lui de Sitter sînt singurele soluții cosmologice ale ecuațiilor relativiste ale cîmpului.

Trebuie să ne oprim un moment asupra acestor cercetări oarecum complementare ale lui Friedman și Weyl, datorită progresului pe care îl marchează și una și cealaltă în gîndirea cosmologică în curs de formare, dar începînd cu cea de-a doua pentru că ea apare direct din discutarea Universului lui de Sitter.

Memoriul lui Weyl din 1923² este foarte dificil pentru orice cititor care nu este un geometru exersat. Chiar Tolman și Robertson au avut nevoie pentru a-l înțelege exact de cîteva explicații care le-au fost furnizate de autor verbal și în scris³. Weyl „vedea”, fără aparentă dificultate, Universul lui de Sitter în cele patru dimensiuni ale sale „tivindu-se” la infinit. El separa în acest Univers secțiuni tridimensionale și familii de curbe și găsea natural să aleagă o origine și coordonate în funcție de această separare, acordînd pentru aceasta încredere intuiției cititorului. Privire de geometru și privire de filozof : ceea ce îl interesează în primul rînd, în legătură cu „sfera” lui de Sitter, este de a delimita pornind din fiecare punct *Wirkungsbereich*-ul său, domeniul său de acțiune efectivă, ansamblul punctelor care pot fi în conexiune cauzală cu punctul ales. Deoarece echivalentul geometric al unui sistem material trebuia să se găsească în definitiv în acest Univers vid : numai legătura cauzală, regulată și orientată, putea furniza un criteriu pentru alegere. Subansamblul geometric care conține în mod virtual materia trebuie să facă din sistemul de particule materiale un adevărat Univers, asigurînd posibilitatea unei legături cauzale a punctelor între ele, două cîte două, oricare ar fi ele. Cel puțin spre trecut (legătura cauzală a fost posibilă) ; căci, spre viitor — și Weyl este primul care a spus acest lucru — particulele materiale în Universul lui de Sitter se deconectează definitiv unele de altele într-un anumit moment al istoriei lor⁴.

Astfel, Weyl alege o familie de geodezice care pe varietatea de Sitter trasează traiectoriile virtuale ale *substratum*-ului material

¹ Explicarea acestei ipoteze, care lipsea la acea dată la Eddington, reprezintă adevărata originalitate a memoriului lui Weyl.

² *Zur allgemeine... , mem. cit.*

³ *Red-shift and Relativistic Cosmology*, Phil. Mag., 9, 1930, p. 936.

⁴ Anexa, VI, B, 2.

al Universului. De aici apar următoarele consecințe importante : această alegere distinge clar, într-un mod pur geometric, un timp cosmic, un parametru universal asociat traiectoriilor de univers ale materiei. Dincolo de critica lui de Sitter, ipoteza cosmologică a lui Einstein este deci restabilă. Ea a fost purificată însă de orice referire implicită la „durata” materiei, la „repausul” cosmosului și a devenit astfel disponibilă pentru modele de univers a căror metrică nu este statică și în legătură cu care intuițiile duratei și ale permanenței nu mai au valoare.

Pe de altă parte, odată separate în Universul lui de Sitter geodezicele lui Weyl și odată plasate particulele de probă pe ele, apare deplasarea spre roșu : aceasta era prima explicație teoretică coerentă a efectului observat la Mount Wilson. Nu mai rămâne în acest caz pentru elucidarea completă a cosmologiei de sitteriene decât să se găsească sistemul de coordonate cel mai potrivit care să faciliteze apariția directă a proprietăților sale esențiale : este tocmai ceea ce vor face independent unul de celălalt Lemaitre și Robertson.

Caracterul și valoarea raționamentelor lui Weyl sînt bine puse în lumină, din contra, de o încercare nefericită a lui Tolman, care prezintă de asemenea interes ca prefigurare a dezvoltării teoriei stării staționare.

Puțin convins de raționamentele lui Weyl, la care el nu aprecia în mod evident metoda geometrică și filozofică, Tolman a încercat pe cont propriu, urmînd o cale de abordare mult mai inductivă, să elucideze problema confruntării Universului lui de Sitter cu observațiile ; fără succes în cele din urmă, după cum el însuși a recunoscut de altfel. Ipotezele sale nu permit deducerea unui decalaj spectral sistematic și orientat întotdeauna în același sens¹.

Tolman plecase de la constatarea că distribuția uniformă a materiei-martor în spațiu și existența unui decalaj spectral sistematic nu rezultă din metrica lui de Sitter decât dacă acesteia i se adaugă ipoteze restrictive, singurele care pot permite să se asigure corespondența dintre proprietățile modelului și cele ale Universului observat. Dar în loc să raționeze ca Weyl, direct asupra structurii geometrice a modelului și să se sprijine pe o ipoteză apriorică de coerență cauzală, Tolman a ales, mai empiric, un principiu plauzibil : observăm acum anumite trăsături ale fizionomiei cosmice ; ipoteza „cea mai naturală” constă în a presupune că aceste trăsături rămîn aproximativ permanente (această presupunere nu se

¹ *On de Sitter's Universe*, Astrophysical Journal, 69, 1929, p. 245 și Rel. Therin. and Cosm., Oxford, 1934, ed. a III-a, 1958, p. 356.

impune încă deloc, pentru Tolman ; am putea dori să minimalizăm importanța stării actuale și am fi perfect îndreptățiți să vedem aici efectul unor fluctuații trecătoare).

Trebuie să rezulte de aici că dispersarea materiei — inevitabilă, după cum am văzut — în cadrul structurii de sitteriene, este compensată de „intrarea continuă” de materie în câmpul nostru vizual, ceea ce nu este exclus din punct de vedere geometric, pentru că lumea observabilă nu poate fi în orice caz decât o parte a modelului. Dacă confruntăm această ipoteză cu cea a lui Weyl, vedem că legătura cauzală în loc să fie axiomatică, este pur și simplu plauzibilă. În lume pot exista o infinitate de lucruri între care nu se poate concepe nici o interacție : conceptul de univers nu implică în sine nici o condiție de structură determinată, nici măcar pe aceea de a fi cu adevărat Universul. Acesta poate fi un sistem în care se intră și prin care se trece și, dealtfel, poate fi orice, cu condiția ca înfățișările pe care ni le prezintă să fie întemeiate rațional ca urmare a unei anumite regularități, cel puțin statistice.

Dar inconvenientul ipotezei lui Tolman — slăbiciunea sa în sensul logic al cuvintului — apare atunci când este vorba de consecințele sale asupra propagării luminii. Tot ceea ce se poate conchide este că trebuie să observăm mai frecvent decalaje spectrale spre roșu decât spre violet, ceea ce evident nu este suficient pentru a conduce la înțelegerea faptelor observate. Ipoteza lui Weyl dă, dimpotrivă, direct tot ceea ce este necesar : elaborată aprioric, prealabil oricărei referiri directe la faptele observate, ea le fundamentează cu toate acestea mult mai bine.

Totuși ipoteza „intrării continue” corespunde pînă la un anumit punct logicii proprii a modelului. Destul de curios, ea precede cu douăzeci de ani generarea continuă de materie a autorilor teoriei stării staționare, asociată și ea metricii lui de Sitter. Dealtfel, Tolman însuși avusese în vedere pentru moment generarea continuă de materie. Diferența este totuși cea dintre o încercare fără perspectivă și o teorie contestabilă și contestată, dar remarcabil de coerentă. Pentru a ajunge la teoria stării staționare, mai întîi trebuie aplicat modelului lui de Sitter principiul lui Weyl, tocmai cel pe care Tolman dorise să-l evite datorită caracterului său aprioric. Pe de altă parte, în loc să considerăm, ca Tolman, permanența aproximativă a Universului observat drept o presupunere plauzibilă, trebuie să facem din aceasta o adevărată axiomă. În afara evidentului decalaj istoric, exista și o importantă distanță epistemologică între Tolman, pe de o parte și Bondi și Gold, pe de alta. Tolman era empirist prin metodă și chiar prin religie ; orice afirmație apriorică îi părea suspectă și aproape nepotrivită. Dar cosmolo-

gia se lipsește greu de aserțiuni apriorice, așa cum o dovedește tocmai neputința lui Tolman de a obține ceva din metrica lui de Sitter. Dealtfel va trebui să revenim asupra acestui conflict frapant existent în gândirea lui Tolman și, în general, între intențiile cosmologice și interdicțiile empiriste.

E. Friedman : abandonarea Universului static

Cosmologia lui Friedman, prima în care ipoteza pînă atunci implicită a Universului static este abandonată explicit, a fost expusă în două memorii relativ concise, publicate respectiv în 1922 și în 1924 în *Zeitschrift für Physik*¹. Datorită importanței lor istorice și pentru că formează un ansamblu deosebit de coerent și, în anumite privințe, definitiv, vom începe prin a le analiza.

În primul său articol, Friedman își propune să deducă structura geometrică a Universului din anumite ipoteze și să dovedească, pornind de la ele, posibilitatea existenței unui spațiu cosmic cu curbură constantă (adică independentă de punctul ales în spațiu) dar *putînd să depindă de timp*. El presupune implicit în acest prim articol că această curbură este pozitivă.

Friedman precizează că ipotezele sale sînt de două feluri (distincție pe care nu o găsim nici la Einstein, nici la de Sitter) : un grup de ipoteze care se pot numi fizice. Este vorba de aceleași ipoteze pe care le întîlnim la Einstein și de Sitter : raportul dintre metrică și starea materiei este definit de ecuațiile cîmpului cu termenul în Λ ; materia este repartizată uniform în spațiu ; vitezele locale sînt mici în raport cu viteza luminii. Dar acestui prim grup el îi adaugă un al doilea, care se referă „la caracterul general și, ca să ne exprimăm astfel, geometric al lumii”, la a considera că spațiul are o curbură constantă (în orice punct dar nu în mod necesar în orice moment) și că pot fi alese astfel de coordonate încît timpul să fie ortogonal spațiului (absența termenilor de forma g_{10} , g_{20} , în coeficienții metricii)².

Plecînd de aici calculul se desfășoară fără surprize și îi permite lui Friedman să regăsească mai întîi, ca niște cazuri particulare, cele două modele, al lui Einstein și al lui de Sitter (singurele soluții staționare ale problemei cosmologice). Apoi, în cazul general, apli-

¹ A. FRIEDMAN, *Ueber die Krümmung des Raumes*, *Zeitschrift für Physik*, 10, 1922, p. 377 și *Ueber die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung*, *Zeitschrift für Physik*, 21, 1924, p. 326.

² Anexa, IV, C și VII, ec. 72.

cind ecuațiile cîmpului pentru cazul densității uniforme (Friedman presupune întotdeauna presiunea nulă în modelul său), el obține o ecuație diferențială în R, \dot{R}, \ddot{R} (R fiind raza de curbură a spațiului, funcție numai de timp¹), care va rămîne una din relațiile fundamentale ale cosmologiei relativiste. Discuția acestei ecuații îi indică lui Friedman posibilitatea existenței a trei tipuri de univers cu rază variabilă, după cum se consideră valoarea lui Λ ; din care două tipuri monotone, în expansiune indefinită. În primul, expansiunea a început la o distanță finită în trecut, Universul fiind atunci în starea singulară de rază nulă. În cel de-al doilea, expansiunea începe pornind de la un minim finit atins asimptotic pentru $t = -\infty$. Cel de-al treilea tip, al lui Friedman, este periodic: raza crește pornind de la valoarea zero pînă la un maxim finit, apoi descrește².

În ceea ce privește acest Univers periodic, Friedman observă că sînt posibile două ipoteze asupra a ceea ce s-ar putea numi — aceasta nefiind însă expresia pe care o utilizează el — topologia timpului: dacă convenim să identificăm două puncte din spațiu-timp ale căror coordonate spațiale sînt identice și ale căror coordonate temporale diferă printr-un multiplu întreg al perioadei, trebuie să spunem că „timpul existenței cosmice este finit”. Dacă, dimpotrivă, convenim să nu identificăm două puncte din spațiu-timp decît dacă toate coordonatele lor sînt identice, atunci timpul cosmic este infinit și Universul este un sistem cu adevărat periodic. Friedman consideră pînă la urmă cunoașterea noastră asupra Universului real prea imperfectă pentru a se putea încerca identificarea lui cu vreunul din modelele teoretice. Trebuie amintit că în acest prim articol Friedman presupunea curbura constantă a spațiului drept pozitivă și spațiul drept sferic sau eliptic, așa cum este acesta în cosmologia lui Einstein și a lui de Sitter.

În cel de-al doilea articol, fără să modifice în alte privințe ipotezele sale, Friedman extinde discuția la cazul în care curbura constantă este negativă³, adică spațiul este infinit. Apare în primul rînd o deosebire importantă față de primul caz: nu există Univers staționar de curbura negativă a cărui densitate să fie pozi-

¹ Vezi Anexa, V, ec. 57. Cînd curbura este pozitivă, se poate vorbi de o „rază de curbură”.

² Anexa, VI, C, 2.

³ Pentru a fixa în mod grosier ideile, putem face analogia cu suprafața Pămîntului: în virful unei coline sau pe fundul unei văi, curbura este pozitivă. Aceasta corespunde faptului că părăsind colina (sau fundul văii) trebuie în mod necesar să coborîm (sau să urcăm); într-o trecătoare, dimpotrivă, curbura este negativă: putem să o părăsim coborînd sau urcînd.

tivă, Universul lui Einstein fiind într-adevăr singurul Univers staționar care conține materie. În schimb, dacă densitatea este nulă, este posibil un Univers de curbură negativă, analog cu modelul lui de Sitter.

În cazul nestaționar, Friedman obține o ecuație diferențială analoagă celei pentru spațiul de curbură pozitivă. Discuția demonstrează posibilitatea existenței unui Univers de curbură negativă, funcție numai de timp și de o densitate diferită de zero : acesta este principalul scop al articolului.

Studiul se încheie cu o discuție scurtă dar interesantă despre caracterul finit sau infinit al spațiului : discuțiile precedente arată clar că ecuațiile câmpului nu sînt suficiente pentru a tranșa această problemă, pentru că ele admit soluții cu curbură negativă. Dar Friedman observă că nici semnul curburii nu este suficient pentru a decide, căci sînt necesare ipoteze suplimentare în privința punctelor care se identifică : dacă pe o sferă euclidiană se disting două puncte a căror distanță unghiulară pe un cerc mare este un multiplu întreg de 360° , se obține o suprafață sferică cu mai multe foi pe care distanța dintre două puncte poate fi arbitrar de mare.

Friedman propune ca criteriu de identificare, ceea ce el numește „principiul spaimei de fantome” : prin două puncte nu trece decît o geodezică ; dacă trec mai mult de una, cele două puncte trebuie să fie identificate. Astfel, pe o sferă două puncte diametral opuse trebuie să fie identificate (aceasta este versiunea „eliptică” a Universului lui Einstein) ; „fantoma” — adică imaginea produsă de un fascicul luminos — se identifică atunci cu obiectul care a produs-o, de unde numele pitoresc al principiului. Conform acestui criteriu, un spațiu de curbură constantă pozitivă este finit, în timp ce un spațiu de curbură negativă nu este finit.

Friedman ajunsese deci, încă din 1922, în mijlocul obscurității care domnea încă în ceea ce privește principiile cosmologiei și evident fără nici un fel de date de observație (în memoriile sale nu apare nici un cuvînt despre deplasarea spre roșu sau despre regatul nebuloaselor) să se ridice pînă la acel nivel de generalitate matematică și de claritate a formei de unde prejudecățile se șterg și „obstacolele epistemologice” se aplatizează. Totodată apărea îngustimea cadrului în care Einstein dorise să introducă gîndirea cosmologică și lipsa de consistență a criticii lui de Sitter, încă prea fidelă modelului conceptual pe care ea îl contesta. Constanta cosmologică își căpăta adevărata sa semnificație, pierzînd-o pe aceea pe care Einstein voise să i-o dea. Folosind constanta cosmologică, Einstein voise să închidă spațiul, dar cel de-al doilea memoriu al lui Friedman arăta că există soluții spațiale deschise

și pentru $\Lambda \neq 0$. Singurul sens al lui Λ era deci de a permite soluții cosmologice statice ale ecuațiilor lui Einstein, soluții excluse pentru $\Lambda = 0$. Dacă se urmărea obținerea unei reprezentări coerente a Universului cu ecuațiile lui Einstein în prima lor formă, trebuia să se presupună variabilitatea metricii cu timpul și nu închiderea spațiului. Dar atunci, principiul relativității inerției înceta să mai fie valabil în soluțiile cosmologice, ceea ce însemna eșecul lucrării *Kosmologische Betrachtungen* din 1917.

Pentru a ajunge aici, era nevoie printre altele de multă indiferență filozofică în fața ideii de univers și de suficient sînge rece pentru a nu-ți lăsa cercetarea condusă decît de principiul celei mai mari generalități matematice. După cum am văzut, refuzînd din principiu scepticismul lui de Sitter, Einstein manifesta un anumit atașament pentru susținerea Universului închis. Estetica Universului hipersferic va fascina încă multă vreme spiritele.

L. Infeld scria încă în 1949 : „...orice matematician, dacă i s-ar permite să aleagă, ar vedea Universul nostru mai curînd închis decît deschis ; într-un astfel de Univers există o frumusețe matematică ce apare atunci cînd avem în vedere o problemă matematică oarecare pe un astfel de fundal cosmologic... Comparată cu Universul închis, lumea deschisă a lui Einstein-de Sitter pare posomorîtă și lipsită de inspirație”¹. Pentru alții, ca Eddington și Lemaître, o astfel de alegere era impusă de rațiuni filozofice. La popularitatea Universului finit au putut de asemenea să contribuie atracția noutății și acest soi de sfidare la adresa ortodoxiei științiste reprezentat de reînvierea în plin secol al XX-lea a finitismului (așa cum dimpotrivă, în epoca Renașterii, spiritele înclinate spre heterodoxie puteau fi tentate de imaginea nouă și promițătoare a Universului infinit).

Friedman pare să nu fi încercat niciodată acest entuziasm pentru Universul închis, dar nici aversiunea unui Milne.

Observăm aceeași indiferență a lui Friedman și față de trăsătura cea mai nouă, cea mai surprinzătoare a cosmologiei sale : posibilitatea unei geometrii nestatice. Există totuși ceva neobișnuit și suspect — așa cum se vede bine din prima reacție a lui Einstein față de memoriul lui Friedman² — în ideea soluțiilor nestatice. Lucrul ciudat nu era de a regăsi în cosmologie acel „totul curge”, imaginea fluxului universal al naturii, veche fan-

¹ L. INFELD, *On the Structure of our Universe*, in *Einstein, Philosopher Scientist*, editor P.A. Schilp, Tudor Publishing Comp., New York, 1949 ; ed. a II-a, 1951, p. 496 ; despre modelul Einstein-de Sitter vezi mai jos, p. 81 și Anexa, VI, C, 1, fig. III.

² Vezi mai jos, p. 79.

tasmă atât de reîntinerită de întreaga filozofie modernă; ciudată era mai curînd asocierea neașteptată dintre devenire și geometrie, izbucnirea mobilității în structura matematică a lucrurilor atunci cînd întregul aparat al legilor fizice — cu atât de faimoasa și de supărătoarea excepție a celui de-al doilea principiu al termodinamicii — tînsese întotdeauna să neutralizeze schimbarea naturală asigurîndu-i reversibilitatea algebrică. Temporalizarea geometriei era într-adevăr ultima idee care le-ar fi putut veni urmașilor, chiar foarte îndepărtați, ai lui Platon. Numai un matematician lipsit de orice pasiune putea să arate fără să ridă sau să tremure de emoție, că suma unghiurilor unui triunghi depinde de ziua în care a fost măsurată.

Dar sîngele rece al lui Friedman rezista la orice: închiderea timpului nu îl emoționa mai mult decît variabilitatea geometriei. Evoluția Universului este sau monotonă, sau periodică; dacă este periodică, sau se identifică începutul și sfîrșitul perioadei, sau... Cum să se aleagă? Friedman nu știe, și totul pare să indice că nici nu-l interesează...

O atât de frumoasă lipsă de emotivitate cosmologică îi dădea lui Friedman luciditatea indispensabilă pentru a domina o problemă atât de obscură. Așa se explică poate, în parte, uimitoarea indiferență și nerecunoaștere a cărei victimă a fost Friedman. Nefiind el însuși mișcat de propriile sale descoperiri, el nu putea comunica cititorilor săi impresia că le-ar propune ceva tulburător.

Absența din memoriile lui Friedman a oricărei aluzii la o posibilă verificare, prin observații, a ipotezelor sale relevă poate aceeași seninătate glacială a matematicianului. În orice caz, acesta este un prilej deosebit de uimire, atunci cînd se cunoaște urmarea, cînd ne gîndim la Weyl, la Wirtz, la Hubble. Este însă un fapt că în memoriile lui Friedman proprietățile luminii în universurile cu metrică variabilă sînt complet trecute sub tăcere. Friedman nu vede, nu încearcă să vadă că un efect Doppler structural, universal, izotrop, crescînd cu distanța, rezultă din variația factorului de expansiune, sau de contracție, R , și că un astfel de efect ne-ar putea informa asupra realității și sensului acestei variații. Este tocmai ceea ce frapează și dezamăgește mai mult pe cititorul de astăzi în aceste memorii: adevăratul inventator al expansiunii cosmice nu a spus că expansiunea trebuie să se vadă, atunci cînd avea la îndemînă previziunea teoretică a celui mai prodigios fenomen astronomic care a fost vreodată observat...

În ceea ce privește imperfecțiunile construcției teoretice a lui Friedman, ele erau minore; fără îndoială nu ele au fost acelea care au întîrziat momentul în care Friedman urma să fie înțeles

și puteau să fie trecute sub tăcere. Totuși ele pun bine în lumină anumite puncte importante din axiomatica cosmologiei contemporane.

Făcînd distincția între ipotezele *geometrice* și ipotezele *fizice*, Friedman face un pas important : această idee poate să surprindă, pentru că teoria relativității se bazează pe identificarea geometriei cu fizica. De fapt, Friedman avea dreptate : în cosmologie distincția este inevitabilă și ea urma să se afirme în continuare încă și mai categoric. Dar, în raport cu enunțul definitiv pe care urma să îl dea Robertson sistemului de axiome pe care se bazează cosmologia lui Friedman, axiomatica explicită a acestuia din urmă pare subdezvoltată ; aceasta se referă mai ales la ipoteza timpului cosmic. Friedman o introduce în mod corect și satisfăcător din punct de vedere tehnic, ca pe o convenție, aceea că există întotdeauna o schimbare de coordonate care anulează în mod identic coeficienții g_{0i} ¹. Dar timpul cosmic este în acest caz prezentat ca o pură convenție, al cărei sens geometric și fizic nu este explicitat, un aranjament de matematician. Nu se vede cu claritate ceea ce rezultă de aici pentru mișcările materiei, dacă ipoteza este fructuoasă pentru observații, cum se situează în raport cu axioma generală de covarianță din teoria relativității. Pe de altă parte, Friedman nu folosește sistematic coordonatele comobile, care dau expresia cea mai directă a ipotezelor timpului cosmic, izotropiei și omogeneității. Din această cauză el pune încă pe picior de egalitate modelul lui Einstein și modelul lui de Sitter, descrise ambele drept „staționare”, fără a preciza că ele nu sînt deloc astfel în același sens al acestui cuvînt.

În sfîrșit, o imperfecțiune minoră, Friedman presupune întotdeauna în modelul său că presiunea este nulă, fapt fără consecințe grave din punct de vedere geometric, dar care tinde să mascheze, așa cum vom vedea, proprietățile termodinamice cele mai remarcabile ale universurilor relativiste ².

¹ Vezi Anexa, VII, ec. 72 și comentariul.

² Vezi Anexa, V, ec. 58.

Capitolul III

COSMOLOGIA RELATIVISTĂ: OPȚIUNI TEORETICE CONCURENTE

Spre sfârșitul deceniului al treilea, care constase, pentru cosmologia teoretică, din ani de tatonări, de erori și de surprize, dar și din ani ai marilor descoperiri, un articol al lui Weyl elucida complet geometria Universului lui de Sitter¹, iar un memoriu al lui Robertson clarifica definitiv „ipotezele geometrice”, a căror necesitate pentru cosmologia relativistă fusese înțeleasă de Friedman fără ca el să le formuleze perfect. Robertson dădea acestei probleme geometrice, bine delimitată conceptual, o soluție riguroasă și definitivă, în termenii geometriei riemanniene și ai grupurilor de transformări. Folosind în plus în mod sistematic coordonate comobile, al căror sens fizic este absolut clar, el dădea expresia canonică — astăzi clasică — a oricărei metrici riemanniene care satisface aceste ipoteze².

Aplicarea ecuațiilor lui Einstein, cu termenul lor cosmologic, acestei metrici — ceea ce conduce, cu diferențe neglijabile, la ecuațiile explicitate de Friedman — permite specificarea metricii într-un mod compatibil cu axiomele relativității generalizate.

Deducerea lui Friedman și cu atât mai mult cea a lui Robertson, scosese în evidență cât de restrictive și de arbitrare erau ipotezele pe care se baza posibilitatea existenței unei cosmologii statice. Spațiu-timp-ul lui Minkowski este static, dar vid; Universul lui de Sitter este vid și pseudostatic; nu există soluții statice ale ecuațiilor lui Friedman într-un Univers cu curbura spațială negativă.

Universul închis al lui Einstein rămânea deci singura soluție autentic statică. Or Eddington a arătat, în 1930, într-un studiu rămas celebru, că în momentul în care se admite că raza hiper-

¹ *Red-shift and Relativistic Cosmology*, mem. cit.

² *On the Foundations of Relativistic Cosmology*, Proc. Natl. Acad. Sci., 15, 1929; pp. 822–829. Vezi Anexa, IV, ec. 41.

sferei lui Einstein *poate* să fie variabilă cu timpul, adică atunci cînd se consideră acest model în perspectiva generală a cosmologiei lui Friedman, el nu mai apare decît ca o figură de echilibru *instabil*. Orice fluctuație locală a densității trebuie să se repercuteze asupra ansamblului geometriei cosmice, declanșînd o expansiune sau o contracție care nu se pot amortiza și trebuie să continue¹. Urmînd consolidării descoperirilor lui Hubble la Mount Wilson, acest rezultat teoretic al lui Eddington dădea o lovitură decisivă prejudecății repausului cosmic.

Cu alte cuvinte, în 1930 se încheie o perioadă a cosmologiei moderne.

A. Elementul liniar ds^2 al lui Robertson și ecuațiile lui Friedman. Necunoscutele cosmologiei relativiste

Privit în perspectiva a treizeci de ani, tabloul cosmologiei prezintă contraste foarte nete și semnificative. Pe de o parte, el trezește o impresie de desăvîrșire și de stăpînire teoretică; s-a dobîndit o idee precisă despre Univers, iar o axiomatică precisă a înlocuit intuițiile incerte. Pe de altă parte, se impune o certitudine cu atît mai frapantă cu cît raționamentul și calculul sînt suficiente și nu mai este nevoie de observație pentru a le sprijini; Universul este o structură în mișcare prin constituția sa; devenirea naturii nu este numai locală și parțială, ea este totală; nu mai este nevoie de spectrograme ale galaxiilor pentru a dovedi acest lucru. Dar, în schimb, cosmologia relativistă prezintă aspecte nesigure și dezamăgitoare. Ea permite un pluralism deconcertant: lumile posibile sînt foarte numeroase și diferă între ele mai mult decît prin niște simple detalii; spațiu închis, sau spațiu deschis? expansiune monotonă, sau oscilație a structurii spațiale și a stării fizice între un maxim și un minim de densitate? infinitate a timpului spre trecut, sau istorie cosmică începînd la o distanță finită în trecut printr-o stare singulară indescriptibilă în termenii fizicii cunoscute?

Nici una dintre aceste probleme nu putea fi rezolvată în mod categoric. În ciuda unor motive întemeiate, destul de heteroclite dealtfel, și a altora mai puțin întemeiate (rezultînd din anumite erori sistematice în măsurători) de a prefera anumite soluții și de

¹ A. S. EDDINGTON, *On the Instability of Einstein's Spherical Univers*, M.N. R.A.S., 90, 1930, pp. 668—678. Vezi Anexa, VI, A, 2.

a înlătura altele, cosmologia relativistă nu era capabilă să treacă la o adevărată *determinare* a structurii Universului, nici aprioric, nici pornind de la observații.

Pe de altă parte, dacă se privește mai de aproape axiomatica acestei cosmologii, se vede că ea păstrează prea net urma diferitelor motive, tehnice sau filozofice, care au ghidat cercetarea, pentru a fi scutită de echivoc și liberă de orice compromis. Pe de o parte, desigur, cunoașterea relativistă a Universului se obține prin extrapolare pornind de la observații: dar, pe de altă parte, această cunoaștere este determinată aprioric. Ceea ce este nesigur este situația și importanța relativă a acestor două surse ale cunoașterii cosmologice. Acestea sînt trăsăturile cele mai marcante ale științei despre Univers așa cum apare, în 1930, după patrusprezece ani de cercetări teoretice în care nu lipsiseră nici talentul, nici răbdarea, nici pasiunea.

Iată dealtfel, cu mai multă precizie, cum se prezintă cititorului de astăzi cosmologia relativistă din 1930, cu certitudinile și enigmele sale; cum vedeau atunci principalii săi promotori sensul și viitorul ei și de ce se anunțau dezvoltări și aventuri noi.

În locul problemei particulare pe care o pusese Einstein, cosmologia relativistă rezolvase problema mai generală care a apărut în momentul în care *substratum*-ul metric euclidian și galileian — continuînd să beneficieze de o prejudecată deosebit de favorabilă la scară mică — a fost pus în discuție, la scară mare, prin „geometrizarea” entităților fizice. Pe de o parte teoria relativității generalizate, pe de alta ipotezele de simetrie și de omogenitate impuse aprioric dar plauzibile și încurajate de progresele observațiilor, au permis, prin conjugarea lor, să se dea noțiunii de univers un sens fizico-matematic precis și, în cele din urmă, s-a stabilit un acord cel puțin pragmatic între toți cosmologii asupra conținutului acestor ipoteze și asupra expresiei lor formale.

Iată aici adunate aceste ipoteze¹: proprietățile metrice ale spațiului și ale timpului sînt în orice punct determinate (dînd cuvîntului un sens mai curînd algebric decît cauzal) de către proprietățile fizice ale materiei-energiei în vecinătatea punctului respectiv și ecuațiile lui Einstein exprimă în mod corect această relație între forma metrică și conținutul fizic. Dacă se consideră Universul în ansamblul său, neregularitățile locale în distribuția materiei dispar; materia este atunci distribuită uniform și continuu în întreg spațiul; mișcările locale sînt oarecare, dar de viteză întotdeauna mică în raport cu viteza luminii, ceea ce face

¹ Vezi Anexa, IV, V, pp. 474—484.

ca în fiecare punct să se poată defini un reper local în repaus. Un fluid perfect, mai general o distribuție omogenă de materie și de radiație reprezintă modelele fizice experimentale și teoretice cele mai potrivite pentru materia cosmică; singurele mărimi fizice luate în considerație sînt, în general, densitățile uniforme și presiunile izotrope ale materiei și ale radiației. Aceste ipoteze fizice sînt în esență cele pe care Einstein le considerase în 1917 și a căror valoare fusese confirmată de descoperirile astronomice din deceniul al treilea, care dezvăluiau că la o scară destul de mare — la drept vorbind enormă, dar accesibilă observației, galaxiile devenind practic ca niște atomi asemănători unii altora și uniform repartizați — uniformitatea prevalează în cele din urmă asupra diversității¹.

Egalizată la această scară, densitatea materiei este foarte mică; ea nu produce în orice caz decît o distorsiune fără importanță, neglijabilă local, a metricii spațio-temporale în raport cu valorile galileiene². Dar această densitate nu este nulă; cosmologia nu a reținut obiecțiile lui de Sitter împotriva ipotezei „materiei cosmice”. Speculativă în 1917, această ipoteză a devenit empirică în 1930. Paralel, spațiu-timp-ul era definit din punct de vedere geometric ca o varietate riemanniană — în care spațiul formează o subvarietate cu trei dimensiuni, omogenă și izotropă în orice punct — și în care timpul se separă intrinsec de spațiu, elementele materiale fundamentale asociate reperelor în repaus local parcurgînd linii de univers pe care chiar coordonata temporală măsoară timpul propriu. Această ultimă ipoteză asupra „timpului cosmic” se poate numi „principiul lui Weyl”, așa cum face de exemplu Robertson³, pentru că ea generalizează postulatul introdus de Weyl în discuția modelului lui de Sitter.

Plecînd de la aceste premize — al căror sens poate da naștere la multe discuții, dar care din punct de vedere tehnic sînt viabile — se poate deduce fără echivoc forma metrică generală a unui spațiu-timp capabilă să constituie reprezentarea Universului și să joace rolul deținut pînă acum fără justificare de *substratum*-ul euclidian-galileian. În formulă elementului liniar al spațiu-timp-ului, ds^2 , apare un număr real, pozitiv, notat cu R , independent de loc

¹ Vezi cap. I.

² Nu trebuie desigur confundată această distorsiune teoretică locală cu distorsiunea reală produsă de neregularitățile locale, în special de condensările mari de masă. Aceasta din urmă este atît de puțin neglijabilă încît este responsabilă de mișcarea planetelor și, în general, de toate fenomenele gravitaționale.

³ H.P. ROBERTSON, *Relativistic Cosmology*, *Reviews of Modern Physics*, 5, 1933, p. 63.

dar dependent de timp și care măsoară „curbura” spațiului ¹ (și „raza sa de curbura”, atunci când spațiul este închis). Acest număr R , fiind în general funcție de timpul cosmic, cosmologia statică se reduce la niște cazuri particulare în care această funcție este o constantă.

Din metrica generală, nestatică, fără a duce mai departe specificarea modelului și presupunând pur și simplu că funcția $R(t)$ este monotonă pe un interval destul de mare, se poate deduce existența unui efect Doppler universal, izotrop, care modifică în orice punct frecvența oricărei radiații provenind de la o sursă suficient de îndepărtată, în așa fel încît decalajul spectrului în raport cu spectrul unei surse identice locale crește cu distanța, urmînd o lege în primă aproximație liniară. Acest rezultat teoretic, care concordă atît de bine cu rezultatele observațiilor astronomice, este în același timp cel mai simplu și cel mai frapant din întreaga cosmologie modernă ². Pentru deducerea efectului, în afară de forma generală a elementului cosmic ds^2 sînt necesare două ipoteze, și anume : că în vid, conform uneia din axiomele teoriei relativității, lumina parcurge o geodezică a spațiu-timp-ului de-a lungul căreia $ds = 0$ și că în două puncte oarecare din spațiu-timp doi atomi identici, aflați în repaus local, emit fotoni de aceeași frecvență (măsurată în timpul propriu).

Un alt rezultat fizic important care se poate deduce din forma metrică generală a Universului relativist este expresia, aprioric destul de neașteptată, pe care o capătă principiul conservării materiei-energiei cosmice. Dacă, pentru simplificare, se asimilează această materie cu un gaz perfect, mișcările sale locale dezordonate se măsoară printr-o mărime macroscopică numită, printr-o analogie evidentă cu fizica locală, *presiune*. Or, în expansiunea cosmică, cu toate că la această scară materia nu are prin definiție nici un mediu înconjurător asupra căruia și-ar putea exercita acțiunea, trebuie totuși să spunem că presiunea „lucrează” — asemenea presiunii unui gaz care se destinde adiabatic, deplasînd un piston fără a schimba căldură cu exteriorul; cu alte cuvinte, putem spune că energia sa se micșorează prin expansiune cu o cantitate echivalentă cu lucrul mecanic efectuat asupra mediului înconjurător ³. Importantele consecințe pe care anumiți autori le

¹ Pe o varietate cu trei dimensiuni există mai multe feluri de „curburi”. Pentru definirea precisă a celei de care este vorba aici, vezi Robertson, *ibid.*, p. 83. Anexa, I, ec. (21, 22, 23).

² Robertson insistă în special, și pe drept cuvînt, asupra faptului că în deducția cosmologică ipoteza nestatică nu este bazată pe observație, ci permite să se anticipeze asupra acesteia; *ibid.*, p. 82.

³ Anexa, V, ec. 58.

deduc de aici, în ceea ce privește termodinamica Universului, vor fi examinate ulterior ¹.

Pînă aici deducerea teoretică este incontestabilă, dar este imposibil de mers mai departe în determinarea caracteristicilor geometrice ale Universului fără introducerea unor ipoteze suplimentare, asupra cărora însă acordul încetează de a mai fi unanim; pe de altă parte, acordul pragmatic asupra principiilor deducției cosmologice este greu de tradus fără echivoc în termeni filozofici.

Este mai ales cazul — asupra căruia sîntem obligați să revenim fără încetare — al ipotezei timpului cosmic, pe care în 1917 de Sitter o respingea în numele teoriei relativității și la care teoreticienii fuseseră readuși, poate fără a o fi dorit în mod deliberat ci pur și simplu pentru a răspunde exigențelor clarității matematice. Nu este încă momentul să întreprindem analiza acestei probleme, date fiind salturile pe care le va cunoaște în această privință gîndirea cosmologică după 1930. Dar am vorbit deja despre curioasa „supradeterminare” a principiului lui Weyl și putem adăuga că, la autorii acestei prime epoci, ipoteza timpului cosmic — odată detașată de consecințele operatorii care rezultă — prezintă o mare diversitate de semnificații: aceasta se consideră fie ca un simplu corolar al izotropiei spațiale, fie ca o axiomă justificată numai de comoditatea sa (aceasta este poziția lui Friedman, de altfel prea puțin explicită asupra acestui punct), fie ca traducerea abstractă a unui fapt empiric (vitezele locale ale materiei sînt mici), fie ca un fel de evidență ontologică — existența unui conținut material al Universului antrenînd separarea spațiului de timp (acesta este punctul de vedere al lui Lemaitre, care va fi mai amplu examinat).

Aceste echivocuri epistemologice sînt puțin spectaculoase; în 1930 erau încă și mai puțin vizibile decît astăzi și rețineau mai puțin atenția savanților angajați în cercetare decît pe cea a istoricului și a filozofului care încearcă astăzi să le regăsească itinerariul.

În schimb, *nedeterminarea* cosmologiei relativiste nu putea să nu atragă asupra ei toate privirile, să nu provoace unele decepții, ba chiar să angajeze teoreticienii în asumarea unor riscuri noi.

Desigur, un rezultat foarte important și bogat în consecințe îl constituia faptul că cosmologia statică a fost practic exclusă prin convergența raționamentelor teoretice și a descoperirilor empirice, care permiteau mai ales determinarea *sensului* evoluției — pe care teoria, cum se întîmplă de obicei, îl lăsa nedeterminat: deoa-

¹ Vezi cap. VIII.

rece spectrele erau decalate spre roșu, însemna că spațiul se află în expansiune.

Totuși, lăsînd la o parte această circumstanță, soluția relativistă generală a problemei cosmologice lăsa nedeterminate aspecte absolut esențiale, atît în ceea ce privește forma geometrică a Cosmosului, cît și comportamentul său temporal: trebuie oare considerat spațiul ca finit sau infinit? Expansiunea actuală trebuie să continue indefinit sau, dimpotrivă, a fost precedată și va fi urmată de o fază de contracție? În primul caz, a început oare expansiunea într-un trecut infinit îndepărtat, sau la o distanță finită în trecut, pornind de la o „stare singulară”, indescriptibilă în termenii fizicii cunoscute, materia găsindu-se atunci într-o stare de condensare infinită? În cel de-al doilea caz, este spațiul „oscilant”, expansiunile succedîndu-se periodic cu contracțiile, Universul traversînd, printr-o eternă reîntoarcere, de o infinitate de ori, aceleași stări în special starea singulară prin care trebuie să se încheie fiecare fază de contracție? sau istoria Universului se încheie într-un timp finit, sfîrșitul perioadei identificîndu-se cu începutul ei iar timpul închizîndu-se asupra lui însuși, așa cum sugerează Friedman?

Toate aceste posibilități sînt cuprinse în formula generală a elementului cosmic ds^2 ; fără îndoială, nu toate sînt la fel de interesante și plauzibile, dar atîta timp cît ne menținem în cadrul ipotezelor lui Robertson nu putem avea o determinare completă a soluției, nici prin teorie, nici prin observație.

Pe plan teoretic, mai întîi, nu poate subzista nici o îndoială: problema semnului curburii spațiale și cea a constantei cosmologice sînt independente una de cealaltă și acestor probleme trebuie să li se dea un răspuns separat. Contrar a ceea ce crezuse Einstein, introducerea termenului cosmologic în ecuațiile cîmpului nu impune o soluție finită.

Pe de altă parte, proprietățile globale ale spațiu-timp-ului depind în mod direct de valoarea constantei cosmologice: aceasta rezultă în mod indiscutabil din discuția lui Friedman. Oricare ar fi curbura spațiului, soluțiile sînt în mod necesar periodice pentru anumite valori ale lui Λ , monotone pentru altele. Dar valoarea critică a lui Λ depinde de semnul curburii, în așa fel încît nedeterminarea nu este ridicată alegînd $\Lambda = 0$. În acest caz, variația curburii spațiului este monotonă dacă spațiul este infinit, periodică dacă acesta este închis ¹.

¹ Anexa, V, cc. 60 și discuția de la fig. II.

Acestea sînt deci trăsături esențiale ale structurii și ale istoriei Cosmosului pe care deducția teoretică le lasă nedeterminate.

Ce se poate spune despre raportul cu observația? Datele astronomiei au putut să sugereze, mai ales între 1930 și 1950, în parte datorită erorilor sistematice de măsurare, o preferință aproape generală pentru anumite modele. Ele nu erau însă suficiente pentru *determinarea* atîtor necunoscute; ele nu sînt suficiente nici astăzi, cu toate că apar mereu noi posibilități.

În 1930, măsurătorile lui Edwin Hubble, pionier al Universului îndepărtat, se bucurau de încredere deplină. Dar, oricît de ingenioase și de precise erau metodele sale de sondare a spațiului, el subestimase totuși scara distanțelor extragalactice, introducînd astfel erori sistematice în măsurătorile sale. După cum, dimpotrivă, în ceea ce îl privește pe Humason, cu toate că măsurătorile sale spectroscopice, mult mai directe, erau mai exacte, constanta de recesiune era supraevaluată și, în consecință, inversul acesteia, „vîrsta” Universului, era subestimată.

Durata incredibil de scurtă a evoluției cosmice indicată în felul acesta (circa 1,8 miliarde de ani, mai mică decît cea a unor procese locale relativ binecunoscute) stînjenea mult cosmologia relativistă și îi împiedica pe cosmologi să acorde prea mare valoare modelelor de univers în care o singularitate cosmică este situată într-o epocă mai recentă¹. Așa cum vom vedea mai departe, această dificultate îl stînjenea în special pe Einstein.

Începînd din 1952, dată la care a fost încheiată analiza primelor date obținute la Mount Palomar, au intervenit mai multe revizuri ale constantei de recesiune. Valoarea acceptată astăzi este de șapte ori mai mică decît valoarea dată de Hubble, ceea ce stabilește „vîrsta” Universului la treisprezece miliarde de ani². Aceasta dă cosmologiei mai multă libertate, avînd în vedere faptul că corecțiile succesive au stîrnit oarecare îndoieli asupra posibilității de a stabili, în starea actuală a lucrurilor, o valoare precisă a acestei vîrste; dar aceasta subliniază și mai mult nedeterminarea fundamentală a cosmologiei relativiste.

Aici apare o particularitate a cunoașterii cosmologice: cosmologia, prin însăși natura sa de știință a totalității, nu poate fi direct interesată decît de un număr mic de fapte de observație, tocmai acelea cărora li se poate atribui cu certitudine o semnificație universală. Nu se poate însă spera ca astfel de fapte să fie prea nu-

¹ Vezi Anexa, fig. III—VI.

² În contextul cosmologiei este întotdeauna vorba de „vîrsta” Universului fizic (descriș de legi cunoscute pînă în prezent ale fizicii) nu a Universului înțeles în sens general, filozofic. — N.R.

meroase, nici prea ușor de discernat. Pentru a ne asigura că aceste fapte nu sînt numai efectul configurațiilor parțiale sau trecătoare, trebuie să le observăm la scări imense și să le căutăm extrem de departe, la limitele vizibilului, ceea ce face ca cosmologia să fie totdeauna mai mult sau mai puțin obligată să trăiască deasupra mijloacelor astronomiei. Tocmai din această cauză descoperirea deplasării spre roșu a constituit o surpriză atît de extraordinară. De fapt, dacă se iau în considerație progresele enorme făcute de observațiile asupra astrilor începînd cu marile achiziții de la Mount Wilson, observăm că aceste progrese au mai curînd ca efect mărirea certitudinii și a preciziei cu care pot fi cunoscute mărimile cosmologice și nu creșterea numărului lor.

Chiar și un sistem atît de gigantic cum este Galaxia care se întinde pe zeci de mii de ani-lumină, numără sute de miliarde de stele și evoluează de mai multe miliarde de ani, ceea ce oferă astronomiei un cîmp imens de observație nu numai prin întinderea sa, ci și prin diversitate, nu reprezintă totuși din punctul de vedere al cosmologiei decît un element infim, care are numai cîteva proprietăți cu adevărat interesante: forma și mișcarea sa de ansamblu poate, durata evoluției sale în mod sigur.

În afară de aceasta trebuie ținut cont că orientarea cosmologică a gîndirii poate ușor să genereze miraje. În perspectiva și, dacă vrem, în climatul cosmologic, un fenomen riscă cu atît mai mult să fie investit cu o semnificație cosmică cu cît el este mai puțin cunoscut și, din această cauză, mai puțin pus în legătură cu procesele locale. Exemplul radiațiilor cosmice este, în această privință, așa cum o arată chiar numele lor, foarte semnificativ. Ele au fost numite astfel pentru că nu au putut fi puse în legătură cu nici o origine terestră sau solară. Chiar și în 1930, cînd cosmologia era în plin avînt, era încă imposibil să li se dea vreo explicație satisfăcătoare. Lemaître își închipuia că ele sînt urmele unei stări arhaice a Universului, resturile unei explozii gigantice care a fost preludiul istoriei lumii. Dar după aceea, descoperirea magnetismului stelar și interstelar a contribuit mult la dezvoltarea aplicațiilor „locale” care fac din problema radiațiilor cosmice un fenomen necosmic, ci galactic¹. Dacă avem grijă să înlăturăm toate mirajele, aportul astronomiei la cosmologie rămîne limitat; aceasta se datorește mai puțin ignoranței primeia, cît exigențelor celei de-a doua și naturii problemelor pe care ea le pune².

¹ Totuși, Hoyle presupune încă faptul că radiațiile cosmice cele mai energice au o origină cu adevărat...cosmică. Vezi mai jos, cap. IX.

² Asupra confruntării teoriilor cosmologice cu observația, vezi mai jos, cap. X.

Această nedeterminare atât de dezamăgitoare a cosmologiei teoretice, această dificultate de a preciza înseși datele pe care observația ar putea și ar trebui să i le furnizeze, invită prin ea însăși la reflectare asupra a ceea ce motivează această știință, sau, mai curînd, în perspectiva actuală, asupra a ceea ce o motiva în cadrul cosmologiei relativiste din 1930. În orice caz, fără această examinare, nu am putea înțelege deloc de ce cercetarea cosmologică a luat, începînd de la acea dată, o direcție nouă și s-a abătut cîteodată complet de la căile trasate de știința tradițională.

Plasați în deceniul al patrulea, într-o situație puțin satisfăcătoare — pentru că orice cosmolog se simte angajat, prin însăși natura acțiunilor sale, să dea un răspuns unic unei probleme unice — teoreticienii Universului au făcut față situației aducînd în discuție elementele unei concepții personale asupra lumii, pe scurt ale unei filozofii. Pentru că atingem aici tocmai punctul în care, oricare ar fi tehnicitatea discuției, știința încetează și începe filozofia, punctul în care un anumit fel de certitudine încetează să fie accesibilă, se trezește un nou fel de interes. Principalele probleme care cereau simultan un răspuns, în vederea confruntării dintre modelele teoretice și datele de observație și în vederea clarificării din punct de vedere filozofic a noțiunii de univers, erau următoarele :

1. Întrucît geometria riemanniană permite definirea unui spațiu finit într-un sens necunoscut științei clasice, trebuie oare, și în ce fel, redeschisă dezbaterea privind avantajele și inconvenientele unei reprezentări finitiste a Universului? Pe de altă parte, problema constantei cosmologice revenea la întrebarea cum trebuie conceput raportul dintre teoria relativității, cu ecuațiile sale locale, și definirea *substratum*-ului metric universal.

2. Problema timpului cosmic și a semnificației filozofice a acestei ipoteze atingea în oarecare măsură toate problemele importante ale filozofiei naturii, ba chiar ale întregii filozofii. În particular, pentru a rămîne la aspectele cele mai fizice ale acestei probleme, trebuie oare să considerăm expansiunea ca o simplă trăsătură a structurii Universului, care, datorită caracterului său geometric și cosmic, nu poate fi, prin definiție, decît descrisă, ca și tridimensionalitatea spațiului, pe care ar fi inutil să dorim s-o „explicăm” prin acțiunea unei anumite cauze fizice¹? (Eventuala inversiune a sensului evoluției, de la expansiune la contracție, nu ar avea atunci altă semnificație decît de a traduce imposibilitatea logică ca un număr real să aibă un pătrat negativ ca și

¹ „Explicația” tridimensionalității spațiului, pe care Eddington o propune în *Fundamental Theory*, nu constă în a o raporta la o „cauză”, ci în a o integra în descrierea unei structuri mai abstracte.

corespondența dintre proprietățile timpului cosmic și cele ale mulțimii numerelor reale.) Trebuie, dimpotrivă, să se considere expansiunea ca un „fenomen”, ca ceva care „se petrece” și să se caute în consecință a o raporta la cauza sa?

3. Se schițează în sfârșit o problemă epistemologică : cosmologia poate cu greu să se prezinte ca o simplă extrapolare, pornind de la observațiile astronomice ; fără anumite ipoteze apriorice, ea este condamnată la tăcere. Dar pînă la ce punct este permis acest procedeu ? Folosirea sa trebuie limitată cît mai mult posibil, sau trebuie, dimpotrivă, practicăată sistematic, cu dorința explicită de a da ideii de univers, științei Universului, un statut epistemologic cu totul diferit de acela care este de obicei recunoscut științei astronomice sau fizice ?

Orientarea cosmologiei după 1930, care va face obiectul următoarelor capitole, este determinată într-o mare măsură de meditația asupra ultimelor două probleme. Dar pentru a înțelege mai bine dezvoltările și rezultatele noilor teorii care vor înflori între 1930 și 1950, trebuie să examinăm răspunsurile mai mult sau mai puțin explicite și motivate pe care anumiți făuritori ai cosmologiei relativiste au ajuns să le dea, rămînînd totuși fideli teoriei relativității generalizate.

Ne vom opri deci, succesiv, asupra noii poziții cosmologice a lui Einstein, adversar hotărît al constantei Λ după ce fusese inventatorul ei, asupra celei a partizanilor finitismului și ai unei valori pozitive, definite, a lui Λ (Eddington și Lemaître) și, în sfârșit, asupra celei a lui Tolman, empirist convins, în lucrările căruia anumite ezitări filozofice scot bine în evidență dificultatea de a pune în acord noua gîndire cosmologică cu principiile științei pozitive tradiționale.

B. Noua cosmologie a lui Einstein

În lucrarea *Kosmologische Betrachtungen* din 1917, extinderea cosmologică a teoriei relativiste este motivată mai curînd de o exigență de coerență și de perfecțiune logică decît de intenția de a extrapola inductiv, mergînd de la parte la întreg. Universul este așezat la baza cunoașterii teoretice în loc să fie considerat ca orizontul ei. Einstein pare să se fi menținut destul de mult timp pe poziția sa epistemologică din 1917 : el o precizează și o apără cu o franchețe desăvîrșită atunci cînd de Sitter, în condițiile care se cunosc, propune o nouă soluție pentru problema cosmolo-

gică. „Teoria relativității, spune atunci Einstein, nu constituie într-adevăr un sistem satisfăcător”... decît dacă ea face să apară „proprietățile fizice ale spațiului ca fiind complet și în mod unic determinate de materie”¹.

Aceasta este singura justificare a termenului cosmologic și dacă soluția lui de Sitter era posibilă — ceea ce la acea dată Einstein nu credea, din cauza „orizontului masei” — menținerea termenului în Λ în ecuații nu ar fi fost justificată.

Atunci cînd Einstein a luat cunoștință de primul memoriu al lui Friedman, el l-a primit cu suspiciune și a crezut chiar că poate demonstra că soluția nestaționară este incompatibilă cu ecuațiile cîmpului: raționamentul său era foarte simplu și, ca întotdeauna, mergea direct la esențial și ajungea la concluzia că densitatea medie a Universului nu poate fi variabilă în timp; lucrurile nu stăteau însă astfel și nu Friedman era acel care se înșelase... Einstein a mărturisit cu franchețe că făcuse o eroare de calcul și a scris zece rînduri în *Zeitschrift für Physik* pentru a-i da dreptate, fără nici o rezervă lui Friedman².

Ar fi o notă de ușurință din partea noastră să considerăm ca o simplă anecdotă faptul că cel mai mare fizician al secolului publică rezultatul unui calcul eronat. Aceasta arată mai curînd ce important „obstacol epistemologic” era credința în permanența formei cosmice pentru un spirit format de filozofia naturii din 1890.

Apreciind la justa sa valoare noua idee a lui Friedman, Einstein va păstra tăcerea, timp de opt ani, în ceea ce privește problema cosmologică. Fără îndoială că nașterea și avîntul teoriilor cuantice i-au reținut atenția în toată această perioadă asupra unor probleme mai arzătoare. Totodată avea fără îndoială nevoie de un oarecare timp pentru a abandona perspectiva din *Kosmologische Betrachtungen*. Dar atunci cînd ia din nou cuvîntul în dezbaterile cosmologice, începînd din 1931, se observă că schimbarea punctului de vedere este foarte importantă. La acea dată, clarificarea tehnică a problemei era încheiată, dar, din numeroasele lucrări ale contemporanilor săi, Einstein nu le reține decît pe cele ale lui Friedman și noua sa doctrină este foarte personală³.

¹ *Kritisches zu einer Herrn de Sitter gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen*, in *Sitzungsberichte der königlichen preussischen Akademie der Wissenschaften*, 1918, pp. 270—272.

² *Zeitschrift für Physik* 11, 1922, p. 326 și 16, 1923, p. 228.

³ Începînd din 1931, Einstein a consacrat problemei cosmologice patru studii speciale, ale căror referințe le grupăm mai jos: a. *Zum kosmologischen Problem der allgemeinen Relativitätstheorie*, S.B. der Pr. Akad. der Wiss., 1931, pp. 285—327; b. *On the Relation Between the Expansion and the Mean Density of the Universe*, (în colaborare

Deși nu își „mărturisește” niciodată explicit retragerea, Einstein a renunțat de fapt, începând din 1931, cel puțin provizoriu, la tentativa de desăvârșire teoretică ce motiva raționamentele sale din 1917. Nu mai este vorba de a elabora o soluție cosmică a ecuațiilor câmpului, care să satisfacă integral principiul determinării complete a metricii de către conținutul spațiu-timpului. Asupra acestui punct, Einstein recunoaște până la urmă — dar întotdeauna implicit — temeinicia criticii lui de Sitter, admitând ca reprezentare posibilă a lumii reale modelele în expansiune definită în care, după propriile sale cuvinte, „structura spațiului este din ce în ce mai puțin determinată de materia pe care o conține”¹. Ca și cum, purtat de elan, Einstein atinsese în 1917 culmea puterii și a pretențiilor sale, pentru a fi constrâns după aceea, prin forța lucrurilor și a ideilor, să amâne desăvârșirea unei sinteze întotdeauna căutate, dar care i se sustrăgea fără încetare.

Termenul cosmologic neproducând efectele scontate, Einstein este hotărât, în 1931, să se lipsească de el și să scrie ecuațiile câmpului în forma lor originală, cea mai simplă, așa cum o recomandă principiul „economiei logice”. Asupra acestui punct, poziția sa a devenit din ce în ce mai fermă. În 1932, el spune că teoria *poate* să se lipsească de termenul cosmologic, în 1945, afirmă că acest termen este „de aruncat”.

Trebuie să mărturisim totuși că principiul economiei logice nu este în speță mult mai convingător decât principiul invers al celei mai mari generalități, în numele căruia Lemaître sau Tolman înțeleg să mențină termenul cosmologic în ecuațiile câmpului... Și nu ne putem reține să considerăm arbitrară hotărârea lui Einstein, din simplul punct de vedere al obiectivității raționale și să presupunem, în consecință, că a avut și alte motive străine de acest unic punct de vedere. Vivacitatea lui Einstein în răspunsul la critica lui de Sitter, neînțelegerea valorii discuției lui Friedman, îndelungata tăcere care a urmat scurtei sale retractări, absența din scrierile sale ulterioare a unei adevărate recunoașteri că principiul determinării complete a metricii este abandonat, toate acestea ne fac să credem că Einstein nu a renunțat decât cu greu la marea idee din *Kosmologische Betrachtungen* și că, repudiind cu intransigență și pentru totdeauna constanta cosmologică, el

cu de Sitter), Proc. Natl. Acad. Sciences U.S.A., 18, 3, 1932, pp. 213 — 214; c. *Sur la structure cosmologique de l'espace*, in *Fondements de la Relativité générale*, trad. M. Solovine, Hermann, Paris, 1933, pp. 98—109; d. *On the Cosmological Problem*, in *The Meaning of Relativity*, Princeton U.P., ed. a V-a, 1955, pp. 109—132.

¹ *On the Cosmological...*, men cit., d, p. 124.

a dorit în primul rînd să-și interzică să privească înapoi spre o iluzie pierdută.

Este remarcabil totuși că, neputînd da soluției problemei cosmologice sensul pe care aceasta îl avea pentru el în 1917, Einstein nu s-a dezinteresat niciodată de această problemă și că a continuat, cel puțin pînă în 1945, să-i rezerve un loc în meditațiile sale. Acest interes a fost foarte clar motivat, în mai multe rînduri, și întotdeauna în termeni destul de asemănători. Este vorba de faptul că teoria relativității, datorită principiilor sale, trebuie să ia în considerație ceea ce revelă observația cu privire la distribuția materiei în Cosmos, căci „proprietățile metrice ale spațiu-timp-ului nefiind cauzal independente de conținutul său, ci determinate de acesta din urmă, apare în această teorie o problemă străină teoriei clasice¹”. Materia cosmică omogenă nu mai este deci, ca în 1917, o ipoteză necesară aprioric, ci un fapt de observație de care teoria relativității trebuie să țină cont, datorită consecințelor sale geometrice. Din 1917 pînă în 1931, perspectiva lui Einstein asupra Universului s-a modificat, chiar s-a inversat, dar el nu s-a gîndit niciodată că teoria relativității ar putea fi completă fără a da problemei cosmologice o soluție conformă cu datele de observație.

La drept vorbind, lui Einstein i-a venit destul de greu să-și fixeze ideile în această nouă perspectivă. Îl vedem mai întîi, în 1931, explorînd consecințele unei triple ipoteze de lucru : *a.* Friedman are dreptate, metrica spațiului trebuie să fie considerată ca variabilă ; *b.* $\Lambda = 0$; *c.* Universul este finit. Acest ultim postulat menține încă o anumită legătură între vechea și noua cosmologie a lui Einstein. Rezultă, pe de altă parte, ipoteze cu privire la Universul ciclic², ceea ce reprezintă un fel de echivalent al permanenței unui model static.

Dar în anul următor ruptura cu cosmologia din 1917 va fi completă : Einstein prezintă împreună cu de Sitter un model în expansiune indefinită și în care spațiul este euclidian. Din punct de vedere al „economiei logice”, acesta este cel mai perfect dintre universurile imaginabile în cadrul ipotezelor Friedman-Robertson. Considerînd nule constanta cosmologică, curbura spațiului și presiunea cosmică, ecuațiile lui Friedman se pot integra imediat, obținîndu-se pentru $R(t)$ funcția explicită și foarte „economică” :

$$R(t) = t^{2/3}.$$

¹ *Sur la structure...*, mem. cit., c.

² Anexa, VI, C, 2.

Acest „model al lui Einstein-de Sitter”¹, pe care îl vom regăsi de sute de ori, rezultat al unei schimbări subite a concepțiilor teoretice ale lui Einstein, pune de acord pe cei doi fondatori ai cosmologiei moderne, ale căror opinii contrastante deschiseseră, cu cincisprezece ani mai înainte, dezbaterea cosmologică. Acesta este unul din puținele exemple de reconciliere științifică pe care le oferă istoria. Să încercăm să ni-i imaginăm pe Parmenide și pe Heraclit compunând un poem comun pentru a lăsa să se înțeleagă că sfera „ființei” nu este imobilă, dar că, totuși, o formă eternă a timpului asigură, sub distrugerea reciprocă a contrariilor, permanența adevărului... Einstein, la drept vorbind, ceda mai mult decât partenerul său, care fusese mai puțin dogmatic.

Abia după încă treizeci de ani Einstein s-a hotărât, punând la punct și strângând la un loc noile sale idei, să reia problema în ansamblul ei. Atunci rămân posibile pentru el trei clase de modele: cele două precedente plus un altul — un tip de univers în care curbura spațiului este negativă și a cărei expansiune este monotonă, pornind de la o stare singulară, derivată \dot{R} tinzând către 1. Acest ultim model va servi drept bază anumitor teorii cosmogonice².

Din punctul de vedere particular al determinării modelului de univers, noua poziție a lui Einstein prezintă atât un inconvenient, cât și un avantaj. Inconvenientul principal este că toate modelele compatibile cu ipoteza $\Lambda = 0$ sînt expuse unei dificultăți în privința scării timpului. Condiția $\Lambda = 0$ implică, de fapt, $\ddot{R} < 0$ oricare ar fi R . Ne găsim în consecință în cazul în care o singularitate $R = 0$ se situează în trecut la un interval mai scurt decât inversul constantei lui Hubble³.

Fără îndoială această dificultate este astăzi mai puțin gravă decât a fost pînă în 1952, pentru că valoarea dată de către Hubble a fost micșorată de aproximativ șapte ori și inversul ei a trecut de la 1,8 miliarde de ani-lumină la aproape 13 miliarde, ceea ce dă niște limite acceptabile pentru „a încadra” procesele cosmice a căror durată poate fi calculată în mod rezonabil (evoluția stelelor și a roiurilor de stele). Prin urmare, în modelele einsteinieni, curba $R(t)$ impune o limită superioară pentru durata evoluției cosmice care poate fi descrisă din punct de vedere fizic, adică

¹ Anexa, VI, C, 1.

² Vezi Anexa, VI, ec. 70. Asupra concepțiilor cosmogonice ale lui Alpher, Hermann și Gamow, vezi cap. IX.

³ Vezi Anexa, VI, C, 1, 2.

posterioră stării singulare; acest rezultat stînjenește totuși, căci evaluările scărilor de timp în astronomie sînt adesea subiectul unor revizui, deseori în sensul măririi lor ¹. Pe de altă parte, toate aceste modele sînt expuse dificultății pe care o ridică însăși existența unei „stări singulare”, greu de conceput în cadrul fizicii cunoscute și care reprezintă o discontinuitate puțin satisfăcătoare în evoluția cosmică.

Einstein nu ignoră, nici nu disimulează această problemă fundamentală pentru întreaga cosmologie modernă și asupra căreia vom reveni pe îndelete: „Introducerea unei astfel de singularități pare problematică prin ea însăși”, scrie el ². Și sub acest raport, după cum indică o notă, Einstein își pune speranța într-o teorie unificată, mai completă. De fapt, remarcă el, teoria actuală se bazează pe distincția conceptelor de „cîmp gravitațional” și „materie”. Este posibil ca pentru acest motiv teoria să fie inadecvată în cazul unor densități mari și „se prea poate ca într-o teorie unificată să nu apară nici o singularitate” ³.

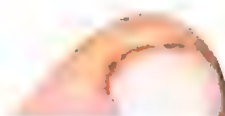
Pe de altă parte, noua poziție a lui Einstein în cosmologie prezintă un anumit avantaj: ea ne permite să sperăm că într-o zi observația va putea să decidă asupra alegerii modelului și, mai ales, să răspundă la întrebarea: este spațiul finit, sau infinit? Într-adevăr, dacă necunoscuta Λ dispăre din ecuații, determinarea semnului curburii spațiale devine posibilă prin compararea constantei de recesiune cu densitatea medie, mărimi accesibile observației ³.

Pentru o valoare dată a lui H_0 (constanta de recesiune), dacă densitatea medie ρ_0 este destul de mică, spațiul este deschis, dacă ea este destul de mare, spațiul se închide. Or, H_0 este cunoscut cu o precizie relativ mare în raport cu cea care poate fi atinsă în măsurarea lui ρ_0 ; dacă aceasta din urmă va fi cunoscută suficient de precis, observația va putea decide semnul curburii. Einstein găsește aici un motiv pentru a prefera soluția finită. Într-adevăr, putem fixa o limită inferioară pentru densitate: trebuie să ținem cont cel puțin de materia condensată în aștrii ce emit radiații, iar postulatul general al uniformității ne obligă să presupunem pretutindeni o densitate cel puțin egală cu cea impusă, în volumul explorat, de prezența acestei materii vizibile. Dimpotrivă, este imposibil să se fixeze o limită superioară pentru densitatea medie: dată fiind imensitatea spațiilor care separă galaxiile unele de altele,

¹ De exemplu, calcule recente ale lui Hoyle fixează durata evoluției Galaxiei la douăzeci și cinci de miliarde de ani.

² *On the Cosmological...*, *mem. clt.*, d., p. 124.

³ Anexa, XI, ec. 159.



pot exista cantități enorme de materie în stare prea diluată și emițind prea puține radiații pentru a fi detectabile.

În consecință, conchide Einstein, dacă observațiile vor arăta existența unei densități suficient de mari, este posibil ca într-o zi sau alta să ajungem să dovedim că spațiul este închis. Pe de altă parte, nu se poate deloc concepe că s-ar putea dovedi că spațiul este deschis, căci ipoteza existenței unei mari cantități de materie care nu se poate detecta este greu de respins¹.

Einstein poate astfel spera — aici renunțăm să urmărim exprimarea gândirii sale, pentru a o interpreta — că renunțarea la punctul său de vedere inițial, la intenția sa de determinare completă a conceptului de univers, nu este în mod necesar definitivă. Einstein ia act pentru prima oară în mod explicit — în memoriul său din 1945, după cum am mai spus — de posibilitatea unei pluralități de modele; dar consecințele ipotezei $\Lambda = 0$, în conformitate cu principiul „economiei logice”, ca și cu spiritul teoriei relativității, duc în același timp la ideea că problema cosmologică este cel puțin determinabilă. Aceasta confirmă că la bătrînețe Einstein este încă și mai convins decât la maturitate că toată raționalitatea naturii se concentrează în ecuațiile cîmpului și că, dînd acestor ecuații o formă mai perfectă, idealul științei fizice poate fi încă atins. S-ar putea deci ca retragerea teoretică să nu fie decît provizorie: dacă teoria va ajunge să exprime mai bine legile structurii spațiu-timp-ului populat de o materie-energie superdensă, dacă astronomia va detecta în Univers destulă materie pentru ca spațiul să se închidă, atunci determinarea completă a geometriei prin conținut va deveni posibilă. Nu este lipsit de interes să notăm că, în acest caz, Universul ar fi destinat unor oscilații periodice.

Dacă în 1945, atunci cînd reedita o operă scrisă cu mai mult de douăzeci de ani înainte, Einstein a dorit să adauge o anexă destul de cuprinzătoare asupra problemei cosmologice, aceasta nu se datorește faptului că ar fi avut ceva foarte nou de adăugat la discuție din punct de vedere tehnic: „Ceea ce urmează, scrie el, anunțînd progresele matematice de mai tîrziu, nu este în esență nimic altceva decît o expunere a ideilor lui Friedman²”. Dar, dacă revine, este pentru că studiul acestei probleme „nu a ajuns în nici un fel la o concluzie”; de asemenea, „pentru că o discuție mai exactă” i s-a părut necesară, pentru că „nu poate scăpa de impresia că în tratarea actuală a problemei, perspectivele cele mai

¹ *On the Cosmological...*, mem. cit., d, p. 130.

² *On the Cosmological...*, mem. cit., d, p. 112.

fundamentale nu sînt schițate cu suficientă claritate¹". Sub aceeașă frunte pe care au apărut ridurile, aceeași lumină vie și rece strălucește mereu în ochi; privirea se îndreaptă spre aceleași orizonturi, dar scopul s-a îndepărtat, calea pare mai lungă și contemporanii se pierd pe drum...

Căci ei nu și-au urmat deloc maestrul. Chiar cosmologii cei mai convinși, ca și el, de faptul că știința lor nu este decît o prelungire a teoriei relativității generalizate, s-au îndepărtat sensibil de vederile sale. Această atitudine este datorată în parte, desigur, dificultății legate de scara timpului. Acela pe care l-ar fi cucerit „economia logică” a soluției Einstein—de Sitter, era respins de neverosimilitatea empirică a singularității care apărea la două miliarde de ani în trecut. Dar probabil acesta nu era singurul motiv. Dezvoltarea cosmologică luase prea multă amploare, suscitase prea mult interes, deschisese prea multe perspective noi pentru ca pagina să poată fi întoarsă cu atîta ușurință și pentru ca *Kosmologische Betrachtungen* — mai ales spiritul lor nou — să fie trecute la profituri și pierderi în opera imensă a unui gînditor excepțional.

Constanta cosmologică făcuse deja carieră atunci cînd Einstein a vrut, dacă putem spune așa, s-o retragă din circulație. Fără a vorbi de folosirea pe care i-o găsisese Weyl cu ocazia tentativelor sale subtile și dificile de generalizare a teoriei relativității (și a căror examinare ar depăși cadrul acestei lucrări), ea a devenit spre 1930 semnul de raliere al unei anumite cosmologii finitiste care, datorită personalității principalilor ei apărători — Eddington și Lemaître — și orientării sale filozofice, urma să cunoască celebritatea și să suscite opoziții vii. Rezervînd în altă parte filozofiei lui Eddington un studiu mai dezvoltat, nu vom reține aici din gîndirea sa decît ceea ce este necesar pentru tabloul cosmologiei relativiste pe care îl facem și, mai ales, pentru o înțelegere mai exactă, prin analogie și prin diferență față de poziția lui Lemaître, de care ne vom ocupa mai întîi.

C. Bazele filozofice ale cosmologiei, după abatele Georges Lemaître

Din punct de vedere istoric, opera lui Lemaître marchează tocmai tranziția dintre perioada a cărei examinare am încheiat-o — cea a punerii la punct a cosmologiei relativiste — și perioada

¹ On the Cosmological..., mem. cit., d, p. 112.

următoare, în care vor fi la ordinea zilei, pe de o parte, cosmogonia, iar pe de alta, revizuirea relativității generalizate.

Pentru moment ceea ce ne interesează este filozofia lui Lemaître; ea este simplă, lipsită de subterfugii și domină net dezvoltarea teoriei cosmologice.

Lemaître crede în posibilitatea adaptării gândirii științifice la realitatea naturală; el crede că gândirea fizică poate ajunge la esența Universului, că lumea este finită, iar reprezentarea accesibilă înțelegerii umane. Formularea lui Pascal trebuie inversată și trebuie spus că, nefiind infinit nici ca întindere nici ca durată, Universul poate fi pus într-o proporție oarecare cu umanitatea. Știința nu are de ce să capituleze în fața Universului, iar Pascal o apucă pe o cale greșită atunci când încearcă să conchidă existența lui Dumnezeu din presupusa infinitate a naturii¹. Mulțumită acestui instrument mai puternic de analiză care este matematica modernă, care dă un sens precis noțiunii de spațiu finit, este deci posibilă o soluție unică, realistă, adecvată problemei cosmologice. Această soluție este de fapt calea de mijloc între Universul lui Einstein — — real pentru că este omogen și finit, dar ireal pentru că este static — și Universul lui de Sitter — ireal pentru că este vid, dar real pentru că reprezintă termenul asimptotic al unei evoluții cosmice în care expansiunea spațiului diluează indefinit materia.

Pentru Lemaître, aparatul matematic al teoriilor moderne dezvăluie de fapt o structură cosmică esențial calitativă, determinată de jocul unor forțe contrarii, în care intervine „oroarea de vid”, și, în forma desăvârșită a teoriei, un proces de pulverizare a energiei.

Dacă lumea așa cum a văzut-o pînă la urmă Lemaître nu ar avea o adevărată istorie, începînd de la o „stare singulară” care seamănă mai mult cu un echivalent fizic al creației biblice decît cu acțiunea unui *primum movens*, și dacă acordul dintre știința cosmică și obiectul său nu ar fi, în gândirea lui și conform declarațiilor sale exprese, garantat de voința creatorului, am fi tentați să spunem că Lemaître este aristotelician. În încheierea unei conferințe referitoare la „mărimea spațiului”, Lemaître își invita auditoriul să fie mîndru de progresele științei și își exprima grațitudinea „față de cel care a spus „Eu sînt Adevărul”, care ne-a dat inteligența pentru a cunoaște adevărul și pentru a descifra

¹ G. LEMAÎTRE, *L'Hypothèse de l'atome primitif et le problème des amas de galaxies*, in *La Structure et l'Évolution de l'Univers*, Comunicările celui de-al XI-lea Consiliu de fizică Solvay, Sceaux, Bruxelles, 1958, p. 6. Cu treizeci de ani mai înainte, la sfîrșitul notei sale asupra Universului lui de Sitter, Lemaître luase o poziție hotărîtă în favoarea finitismului.

un reflex al gloriei Sale în Universul nostru pe carel El l-a adaptat minunat facultăților de cunoaștere cu care El ne-a dotat¹. Dacă există o structură metrică bine definită a Universului fizic și dacă ea ne este accesibilă, aceasta se datorește deci divinității.

Nu este deci de mirare că la prima dintre întrebările puse de cosmologia relativistă, cea a finitudinii spațiului, Lemaître răspunde fără ezitare și fără rezervă : finitudinea geometrică a spațiului eliptic al lui Riemann îi permite reîntoarce la finitismul filozofic pe care evul mediu creștin îl moștenise de la Aristotel și care este rezumat în *teza* primei antinomii a lui Kant. La Lemaître această alegere filozofică nu este prea solid justificată. Pentru el, finitismul este un mod optimist de a vedea lucrurile : un Univers infinit nu ar putea fi obiectul unei adevărate tratări științifice. Dar, după cum bine răspunde Tolman, în tot trecutul științei nu există nimic care ne-ar putea face să ne gândim că ar trebui vreodată epuizat câmpul investigațiilor sale. „Într-adevăr, scopul științei a apărut întotdeauna pînă acum ca un orizont care se tot îndepărtează²”. Lemaître a încercat să adauge acestui argument etic și nesigur în favoarea finitismului un fel de demonstrație, în care se amestecă în mod curios concepte aristotelice și argumente matematice.

El reamintește cu multă competență că singura definiție a infinitului care „să fi rezistat victorioasă criticii” este cea a lui Weierstrass³ : o mulțime este infinită atunci cînd ea este egală cu una din părțile sale, egalitatea referindu-se la două mulțimi care pot fi puse în corespondență biunivocă. Or, această definiție confirmă, după Lemaître, că nu putem avea, în Univers, o infinitate *actuală* ; căci, dacă acceptăm acest lucru, „numărul stelelor care ar putea apărea este infinit”, dar nu și „numărul stelelor care există acum sau care vor exista la o epocă determinată”. De ce ? Pentru că aceasta revine la a ști dacă axioma „întregul este mai mare decît partea” se aplică mulțimii de stele ; or, conchide Lemaître, „se pare că în afară de cazul cînd axiomele noastre cele mai direct evidente nu se mai aplică dincolo de Sirius și Aldebaran, trebuie să tragem concluzia că numărul stelelor este finit⁴”.

¹ G. LEMAÎTRE, *La Grandeur de l'Espace*, Revue des questions scientifiques, martie 1929 ; reprodus în *L'Hypothèse de l'atome primitif*, op. cit.

² R.C. TOLMAN, *Relativity, Thermodynamics...*, op. cit., p. 484.

³ Îi lăsăm lui Lemaître responsabilitatea acestei atribuirii. În general meritul acestei definiții este atribuit lui Dedekind.

⁴ *L'Hypothèse de l'atome primitif*, op. cit., p. 36.

Ni se pare că argumentul se bazează pe un grav echivoc în ceea ce privește sensul cuvântului „actual”. Nimeni mai sigur decât că, în partea de lume pe care o cunoaștem, axioma „întregul este mai mare decât partea” este întotdeauna verificată. Dacă, deci, „existența actuală” se definește ca ceea ce avem din experiența efectivă — sau am putea avea printr-o serie de operații specificabile (de exemplu, numărând nebuloasele vizibile cu ajutorul unui telescop), nu există evident infinit actual. Dar putem oare vorbi în acest sens de o *actualitate* a Universului total? Desigur nu în stadiul actual al cunoștințelor. O experiență efectivă a totalității cosmice nu este în mod sigur dată și nu poate fi descrisă de un program experimental cu toate elementele definite dinainte. Dacă există o actualitate a lumii totale, aceasta nu poate fi luată decât într-un alt sens, pe care ar trebui să-l precizăm, și din care infinitul nu poate fi exclus printr-o simplă referire la experiența noastră efectivă.

Ceea ce susține de fapt la Lemaître ideea actualității cosmice și ceea ce, în același timp, dă atîta siguranță viziunii sale cosmologice și mai tîrziu cosmogonice, este certitudinea intimă a unei posibile mărturii asupra cosmosului total, a unei intuiții directe asupra totalității universale, asemănătoare sau analoagă mărturiei pe care omul o are despre unul din fragmentele acestei realități. Pentru *Kosmotheoros*¹, actualitatea reprezintă actualitatea cosmică.

Probabil tot această certitudine este aceea care, în gîndirea lui Lemaître, susține ipoteza timpului cosmic; căci această ipoteză nu este niciodată formulată explicit, și cu atît mai puțin justificată. Pentru Lemaître este vorba desigur de un fel de evidență ontologică: existența fizică, „actuală” a lumii antrenează după sine unicitatea timpului. Cu toate că Lemaître nu se exprimă în felul acesta, se poate considera din remarcile sale privind modelul lui de Sitter că aceasta este ceea ce gîndește. Dacă în acest Univers, spațiul și timpul nu se deosebesc prea bine și dacă separarea lor pare arbitrară, aceasta se datorește faptului, spune Lemaître, că Universul este vid; din momentul în care se pune materie în el, separarea se face de la sine, și se impune un sistem de coordonate în raport cu care spațiul este în expansiune. Pentru Lemaître, principiul lui Weyl este, pe scurt, fizico-ontologic.

Fiind admise finitismul și ipoteza timpului cosmic, destinul Universului depinde de valoarea lui Λ care trebuie aleasă; există atunci, așa cum am spus, o valoare critică, fie Λ_c , a acestei con-

¹ Aluzie la lucrarea lui Ch. Huygens, *Kosmotheoros*. — N. T.

stante care corespunde unei poziții de echilibru a structurii cosmice, adică Universului static al lui Einstein¹. Dat fiind modul în care Lemaître, ignorând analiza mai generală a lui Friedman, abordase discuția problemei cosmologice, ipoteza $\Lambda = \Lambda_c$ îi apăruse în mod natural; ceea ce căuta el de fapt, era o soluție intermediară care să permită tranziția între Universul lui Einstein și cel al lui de Sitter². Aceasta permitea în plus să se utilizeze relația simplă pe care o stabilise Einstein, în cazul sferic și static, între Λ și raza Universului; se putea obține astfel o estimare indirectă a razei inițiale a Universului.

Acest mod de a introduce cosmologia nestatică — identificînd Universul real cu un Univers al lui Einstein în expansiune — avea avantajul (aparent) față de procedeul mai general al lui Friedman de a da dintr-o dată lui Λ și expansiunii o semnificație realistă și intuitivă, aceea a unei forțe cosmice de repulsie, care în starea statică este în echilibru cu gravitația, forță de atracție. Cum forța de repulsie exprimată prin Λ crește, în virtutea ecuațiilor cîmpului, cu distanța relativă dintre elementele materiei, se poate concepe că, odată ce raza depășește valoarea de echilibru, repulsia întrece din ce în ce mai mult atracția.

Această imagine este simplă și are avantajul, pentru spiritele care preferă reprezentările concrete, de a prezenta expansiunea sub un aspect cauzal (ceea ce de fapt nu duce cu nimic mai departe, dar poate da impresia unei înțelegeri mai intuitive și mai realiste³). La Lemaître, această idee se aliniaza cu ușurință într-o concepție mai curînd aristoteliciană asupra Naturii, așa cum reiese din pasajul următor, destul de semnificativ pentru această stare de spirit :

„Totul se petrece ca și cum materia ar avea oroare de vid, ca și cum vidul ar exercita o forță repulsivă asupra materiei⁴”.

Dar oricît de naturală și de „intuitivă” din punct de vedere fizic ar fi alegerea constantei Λ_c corespunzătoare valorii de echili-

¹ Anexa, fig. II.

² *Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques*, Ann. Soc. Sc. de Bruxelles, 47A, 1927, pp. 49—59. Tradus în engleză în M.N.R.A.S., 91, 1930—1931, pp. 483—489.

³ Eddington scria în 1933, fără a fi absolut sigur, că posibila identificare a lui Λ cu o forță repulsivă fusese înțeleasă încă dinainte de 1922. Dacă este așa, este de mirare că această imagine nu a condus de la sine la descoperirea cosmologiei nestatice. Ea nu joacă însă nici un rol în raționamentele lui Friedman, ceea ce ar confirma părerea atît de frecvent susținută de d-ra Bachelard, că nu imaginile fizice sînt creatoare, ci dezvoltările lor matematice. *The Expanding Univers*, Cambridge U.P., 1933, p. 50.

⁴ *L'Hypothèse de l'atome*, ..., op. cit., p. 105; citatul este extras dintr-o expunere publică ținută în decembrie 1934 la Academia regală din Belgia; nu este deci vorba de un simplu artificiu de popularizare.

bru indicată de ecuațiile lui Friedman, nu putem găsi pe această cale o justificare suficientă pentru această alegere, mai ales într-o teorie în care echilibrul nu este decât o stare ideală a Universului, cel mult trecătoare. Lemaître a apărut-o deci cu argumente mai abstracte, care, bineînțeles, au drept principiu faptul că ecuațiile cîmpului cu termenul cosmologic sînt ecuațiile cele mai generale, care satisfac toate condițiile impuse de axiomele relativității generalizate.

Această argumentație asupra constantei cosmologice se dezvoltă pe de-a întregul într-un memoriu relativ tîrziu, publicat în 1949, în volumul consacrat lui Einstein cu ocazia celei de-a șaptezecua aniversări¹: Λ trebuie să fie considerată ca o constantă de integrare. Într-adevăr, faptul că materia-energia cosmică trebuie să se supună unei condiții de conservare, că distribuția prezentă a acestei materii nu poate fi complet independentă de distribuția sa în trecut, impune o limitare în alegerea valorilor posibile ale curbării spațiale.

Adevăratele relații fundamentale sînt deci niște identități diferențiale (vezi Anexa, I, ec. 25), a căror formă integrală o reprezintă ecuațiile lui Einstein. Dar atunci, în aceste ecuații este introdusă o constantă de integrare pe care teoria o lasă nedeterminată și care este legată tocmă de Λ . Lemaître confirmă din punct de vedere fizic „utilitatea logică” a lui Λ prin următorul raționament: teoria relativității identifică masa și energia; masa gravitațională este deci o formă a energiei. Energia este însă o mărime care nu se definește niciodată decât făcînd abstracție de o constantă. Or, a-i da lui Λ valoarea zero, înseamnă a presupune fără nici o dovadă că nivelul convențional de la care fizicienii calculează de obicei energia este mai important decât oricare altul.

Fără îndoială, argumentul își are valoarea sa, dar în raport cu cosmologia lui Lemaître el dovedește prea mult; căci ar trebui arătat că Λ definește pentru energie un nivel fundamental mai puțin arbitrar decât nivelul zero al lui Einstein. Or, faptul că Λ corespunde unui echilibru imposibil de atins al Universului închis nu prea este în favoarea acestei interpretări, avînd în vedere că, în cosmologia lui Lemaître, acest echilibru nu reprezintă starea inițială a Universului, ci o stare de simplă tranziție. Dealtfel, Lemaître însuși recurge și la argumente mai empirice, invocînd mai ales dificultățile legate de scara timpului, pe care le-am menționat mai înainte.

¹ G. LEMAÎTRE, *The Cosmological Constant*, în *Einstein, Philosopher-Scientist*, op. cit., pp. 439–456.

Acest *qui pro quo* dintre Einstein, pe de o parte, și apărătorii constantei cosmologice, pe de alta, este destul de neobișnuit. În memoriul pe care tocmai l-am citat — și care figurează într-o carte dedicată lui Einstein — Lemaître atribuie unui „accident fericit” descoperirea, în 1917, a constantei cosmologice și a formei definitive a ecuațiilor cîmpului. Pentru cine a citit *Kosmologische Betrachtungen*, expresia sună destul de ciudat și, dacă ar fi existat cu adevărat un „accident”, Einstein nu ar fi fost inclinat să-l considere „fericit”. Într-o altă scriere a lui Lemaître, aproape contemporană, descoperirea lui Λ de către Einstein nu mai este considerată ca accidentală, ci devine „genială”¹. Este totuși greu de crezut că Einstein a putut fi depășit în acest punct de străfulgerările propriului său geniu.

Este adevărat că, la cîțiva ani după moartea lui Einstein, Lemaître a mărturisit că aceste vorbe nu erau de fapt decît un șiretlic pios din partea sa : punînd problema constantei cosmologice în lucrarea dedicată lui Einstein, el dorea mai ales să-l atragă pe acesta la o nouă examinare a poziției sale². Tentativă zădărnice, pentru că Einstein răspunde menținîndu-se strict la teza pe care am indicat-o, adăugînd că, în ochii săi, alegerea unui Λ diferit de zero nu modifică cu nimic dificultatea legată de scara timpului, a cărei singură origine, după el, era valoarea empirică a constantei de recesiune³.

D. Eddington și constanta cosmologică

În privința a două probleme cruciale ale cosmologiei relativiste există importante similitudini între concepțiile lui Lemaître și cele ale lui Eddington ; numele acestora sînt dealtfel asociate în referirea curentă cu un Univers relativist finit, aflat în expansiune monotonă pornind de la valoarea de echilibru a lui Einstein, atinsă asimptotic la infinit în trecut. Într-adevăr, Eddington a fost acela care, în 1930, în același timp cu de Sitter, „a descoperit”, a apreciat la justa sa valoare și a făcut cunoscut memoriul lui Lemaître din 1927, ignorat pînă atunci sau prost înțeles de astronomii și teoreticienii relativiști. Reciproc, Lemaître pare a fi suferit într-o oare-

¹ G. LEMAÎTRE, *L'Univers*, Louvain, Nauwelaerts, 1950, p. 42.

² *L'hypothèse de l'atome primitif et le problème...* în *La Structure et l'Evolution de l'Univers*, op. cit., p. 15.

³ A. EINSTEIN, *Reply to Criticism*, în *Einstein, Philosopher-Scientist*, op. cit., p. 684.

care măsură ascendentul acestei extraordinare personalități. Pe de altă parte, oricât de îndepărtate de catolicism ar fi putut fi concepțiile religioase ale lui Eddington, atașamentul său față de creștinism era prea puternic și prea profund pentru a nu crea un fel de complicitate tacită între el și Lemaître.

Dar, dacă se examinează cu atenție — chiar considerînd numai perioada anterioară elaborării teoriei finale — motivele finitismului lui Eddington și interpretarea dată de el constantei cosmologice, se observă că înrudirea filozofică este cu mult mai îndepărtată decît pare la prima vedere. În afară de faptul că, spre deosebire de Lemaître, Eddington nu s-a raliat niciodată la ideea unui început al Universului în stare singulară, modul său de a înțelege finitismul și constanta cosmologică este cît se poate de străin de realismul lui Lemaître; dacă crede și el că Universul, așa cum îl gîndim noi, poate să coincidă cu cel real, acest lucru trebuie înțeles într-un sens cu totul diferit de acela că proprietățile structurii fizico-matematice a Universului trebuie să poată fi determinate aprioric prin condițiile impuse de o cunoaștere metrică a lucrurilor.

Făcînd aluzie la interpretarea termenului cosmologic ca expresie a unei repulsii cosmice, Eddington spune că, în acest sens, nu a găsit în dezvoltările lui Friedman și Lemaître nici o aluzie „la ceva atît de grosier ca forța”¹. El îi împrumută astfel generos lui Lemaître propria sa finețe epistemologică. Căci Eddington — poate și Friedman — dar nu Lemaître, este acela care găsește prea grosieră imaginea forței pentru a reprezenta constanta cosmologică: el se gîndea de mai mult timp să-i atribuie lui Λ un sens filozofic mult mai subtil și mai profund.

O carte publicată în 1920² dovedește că Eddington nu a primit fără interes cosmologia lui Einstein, dar a avut anumite rezerve. Ceea ce el nu aprecia prea mult era mai ales ideea unei determinări universale și totale a metricii spațiale de către materie, și aceasta din motive filozofice. Este vorba de un fel de aversiune spontană față de tendința materialistă pe care o remarcă la relativistii „continentali”.

Ceea ce îi atrăgea atenția mai mult decît cosmologia lui Einstein, era teoria lui Weyl, aflată pe atunci în curs de elaborare. Evident, în afara speranței unei unificări teoretice a forțelor fizice, el găsea aici ideea că curbura spațiului ar putea avea sensul unui fel de unitate naturală de lungime. Or, această idee nu va face decît

¹ *The Expanding Universe*, op. cit., p. 50. Vezi nota autorului de la p. 89.

² *Space, Time, Gravitation*, Cambridge U.P., 1920.

să se confirme, să se precizeze și să se amplifice în operele ulterioare ale lui Eddington și în așa fel încît — ținînd cont de numeroasele variațiuni pe această temă — în filozofia naturii a lui Eddington se vor găsi întotdeauna trei principii inseparabil asociate:

1. Ecuația corectă a gravitației este cea care conține termenul cosmologic, iar Λ are valoarea Λ_e .

2. Λ_e , care este egal cu inversul pătratului razei de curbură a Universului sferic al lui Einstein, definește etalonul absolut de lungime.

3. Spațiul este închis.

La Eddington nu se găsește, ca la Lemaître, o justificare specială a ipotezei finitiste, exceptînd teoria sa finală, unde finitudinea Universului și principiul cuantic de nedeterminare sînt asociate analitic. Pînă atunci, Eddington, s-a făcut întotdeauna că ignoră faptul că rămînînd în cadrul rezultatelor indiscutabile ale cosmologiei relativiste, semnul curburii spațiului și valoarea lui Λ sînt independente. În afara faptului că ideea de infinit era contrară sensibilității sale filozofice (el vorbește de „coșmarul infinitului¹”), fără îndoială el se angajase de prea multă vreme pentru a mai putea da înapoi, într-o concepție originală și fascinantă în privința relațiilor dintre legile fizice și exigențele metrice ale înțelegerii fizice.

Într-adevăr, interpretarea lui Λ ca etalon de lungime este expusă cu precizie în *Prelegerile Gifford* din 1927. Or Eddington nu face încă nici o aluzie la posibilitatea unei cosmologii nestatice; memoriul lui Lemaître nu fusese încă publicat și poate că pe cele ale lui Friedman nu le cunoștea. Prezintă modelul lui de Sitter ca o explicație posibilă a deplasării spre roșu, el nu dă acestui efect sensul unei dilatări a spațiului; poate că, în plus, el nu era încă perfect conștient de faptul că o valoare pozitivă a lui Λ nu implică neapărat închiderea spațiului.

El consideră, în orice caz, această închidere ca un rezultat deja cîștigat, care trebuie să pună capăt penibilei oscilări a imaginației incapabile să conceapă spațiul infinit și să-l vadă în același timp mărginit. Dealtfel, nici geometria sferică sau eliptică nu se poate imagina, dar ea pune cel puțin capăt zbuciumului rațiunii, dacă nu celui al imaginației. Ea este dificil, dar nu imposibil de conceput².

¹ *The Nature of the Physical World*, Gifford, Lectures, 1927, Cambridge U.P., 1929, p. 83.

² *Ibid.*, p. 80.

Dar principala calitate a finitismului modern nu este aceea de a liniști imaginația, ci de a se asocia singurei interpretări cu adevărat satisfăcătoare a legii gravitației. Într-adevăr, prevăzute cu termenul cosmologic, ecuațiile lui Einstein permit să se definească în fiecare punct și în orice direcție o rază de curbură constantă, a cărei simplă existență permite să se dea un răspuns satisfăcător la întrebarea : „Își păstrează metrul aceeași lungime atunci când îl plasăm într-un punct oarecare și îl orientăm într-o direcție oarecare ?”

Fără îndoială un spațiu cu o curbură cu totul arbitrară se poate concepe din punct de vedere matematic, dar el este o imposibilitate pentru o lume *văzută din interior* și măsurată cu ajutorul unor norme care îi sînt intrinseci. Eddington crede că regăsește în felul acesta — dindu-le adevărata semnificație — obiecțiile făcute de Whitehead teoriei generale a relativității, care ar avea, după acest filozof, inconvenientul de a da o lovitură indispensabilei uniformități a relațiilor spațio-temporale care trebuie să formeze baza operațiilor metrice¹.

Eddington și-a fixat deci încă din 1927 poziția în problema cosmologică ; de aceea întîmpină el cu atîta bunăvoință, în 1930, soluția lui Lemaitre care păstrează avantajele soluției lui Einstein (furnizind etalonul de lungime) și, în același timp, explică foarte simplu deplasarea spre roșu a nebuloaselor. El declară, dealtfel, în memoriul său asupra instabilității Universului lui Einstein, că, „din rațiuni filozofice”, rămîne „o oarecare îndoială” că ecuația corectă a gravitației ar fi cea din *Kosmologische Betrachtungen* cu termenul cosmologic și trimite în mod expres la capitolul VII al cărții *The Nature of the Physical World*.

În 1933, cînd publică *The Expanding Universe*, unde se schițează teoria finală, Eddington își expune tezele cu o siguranță deplină : Λ trebuie să aibă o valoare pozitivă, deoarece un etalon de lungime trebuie să existe. Teoria lui Weyl arată că numai cu această condiție se poate concepe unitatea forțelor fizice. El, Eddington, ar prefera să revină la teoria newtoniană mai curînd decît să abandoneze constanta Λ . Dacă teoria relativității ar trebui să cadă, constanta cosmologică ar fi ultimul bastion care s-ar prăbuși ; a abandona această constantă, ar însemna de fapt „privarea spațiului de fundamentul său²”. Universul sferic în expansiune, cu $\Lambda = \Lambda_e$, va deveni *uranoidul*, adică cîmpul metric

¹ *Ibid.*, cap. VII, pp. 138—146. Aceste dezvoltări sînt dificile ; ele anunță cîteva teme importante din *Fundamental Theory*.

² *The Expanding Universe*, op. cit., p. 107.

fundamental ale cărui proprietăți se confundă cu legile structurale ale realității fizice. Eddington va spune cu violență în ultima sa carte că „Universul infinit este de mult mort și îngropat; aceia care se încăpăținează în dorința de a dezgropa cadavrul trebuie să se considere obsedați¹”.

Astfel, în prezența opțiunilor pe care le impune în 1930 căutarea unei soluții determinate a problemei cosmologice, în cadrul fizicii relativiste, poziția lui Eddington este motivată, de foarte sus și de foarte departe, de o filozofie a științei și a naturii care își are originea într-o meditație asupra sensului epistemologic al teoriei relativității, și care era atunci pe cale de desăvârșire. Această mișcare a gândirii s-a declanșat prea timpuriu, înainte ca analiza teoretică, dificilă și făcută prin tatonări, să fi scos în evidență faptul că dimensiunile problemei erau într-o oarecare măsură mai numeroase decât se crezuse la început. Dar, spre deosebire de Einstein, care era dealtfel de mult avertizat asupra riscurilor și dificultăților unei astfel de acțiuni printr-un studiu atent al discuției lui Friedman, Eddington nu a putut, și mai ales nu a vrut să dea înapoi; într-o altă lucrare a noastră vom încerca să înțelegem de ce².

E. R. C. Tolman : empirism și cosmologie

Pentru Tolman, cosmologia este o amplificare, îndreptățită de observație, a cîmpului de aplicare a teoriei relativității generalizate, ea însăși o teorie obținută plecînd de la experiență. Etape succesive ale unei aceleiași mișcări inductive conduc deci de la teoria relativității restrînsă la definirea structurii Universului și la studiul proprietăților fizice ale totalității cosmice³.

Epistemologia lui Tolman este în conformitate cu tradiția empiristă și pentru el nu este vorba, ca pentru Einstein în 1917, să caute în sinteza cosmică desăvîrșirea logică a unei teorii fizice. Totuși, între filozofia empiristă și știința despre Univers apare

¹ *Fundamental Theory*, Cambridge U.P., 1948, § 38, p. 76.

² Vezi J. MERLEAU-PONTY, *Philosophie et théorie physique chez Eddington*, Paris, Les Belles Lettres, 1965. — N.R.

³ În felul acesta este construită marea operă de sinteză a lui Tolman, în care principalele categorii de fenomene fizice (mecanică, electromagnetism, termodinamică) sînt prezentate succesiv la trei nivele de generalizare: relativitate restrînsă, relativitate generalizată, cosmologie. Această lucrare este *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, Clarendon Press, Oxford, 1934 (reeditată în 1946, 1949 și 1958).

inevitabil o anumită tensiune al cărei spirit lui îi era probabil esențial străin. În aceasta rezidă pentru noi interesul particular al mării sinteze a lui Tolman¹.

Trebuie să notăm mai întâi că Tolman adoptă o poziție cu totul diferită de cea a lui Einstein în privința semnificației constantei Λ , incorporând termenul cosmologic în ecuațiile câmpului din teoria relativității generalizate înainte de orice referire la problema cosmologică², cu toate că opțiunile filozofice ale lui Eddington și Lemaitre erau foarte îndepărtate de ale sale. Or, fără a mai vorbi de „principiul economiei logice” — căruia Tolman nu îi atribuie desigur aceeași valoare ca Einstein, remarcând că speranța fizicienilor de a obține legi simple a fost deseori dezamăgită³ — acest mod de a proceda nu se justifică prin nici un motiv empiric; în măsura în care ecuațiile câmpului sînt verificate de experiență, termenul în Λ este absolut inutil, influența sa asupra soluțiilor fiind neglijabilă la orice scară infracosmică.

Dealtfel, Tolman găsește o justificare a alegerii sale în rațiunile matematice pe care le-am amintit: înzestrate cu termenul în Λ ecuațiile câmpului iau forma cea mai generală compatibilă cu axiomele teoriei (în particular, divergența tensorului energiei rămîne nulă). Dar acest motiv matematic ascunde un altul mai puțin explicit, dar care se poate totuși observa, acela că pur și simplu lui Tolman îi repugnă să-și limiteze aprioric posibilitățile extrapolării cosmologice. El recunoaște că, în orice caz, constanta cosmologică este foarte apropiată de zero. Dar cum, la scară foarte mare, chiar o valoare foarte mică a constantei Λ poate să producă efecte observabile, el reține „din considerente cosmologice” posibilitatea ca Λ să nu fie identic nulă. Pe scurt, din acest moment apare în ceea ce s-ar putea numi „conștiința epistemologică” a lui Tolman, un compromis între morala empiristă și tentația cosmologică. Regula nu recomandă constanta cosmologică Λ ; cel

¹ Faptul acesta nu privează desigur această operă de meritele sale excepționale, care sînt: a. Claritatea expunerii, limpezimea imaginii generale, rigoarea epistemologică (Tolman fiind de la un capăt la altul credincios principiului de a prezenta ideile și calculele din punctul de vedere al fizicianului sau al astronomului care realizează efectiv experiențele sau observațiile); la care trebuie adăugată o judecată ponderată. b. La fiecare nivel, Tolman examinează incidența generalizării asupra fenomenelor termodinamice, fapt capital din punct de vedere al evoluției cosmice, așa cum vom constata într-un capitol ulterior. Faptul că însuși Einstein a făcut recenzia acestei cărți în revista *Science* (seria nouă, 80, 1934, p. 358) este o mărturie destul de elocventă.

² *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, p. 189. Cosmologia începe la p. 331.

³ „...istoria eforturilor umane pentru înțelegerea Universului nu ar îndreptăți desigur postularea apriorică a simplității matematice a naturii” (*Relativity, Thermodynamics, ...op. cit.*, p. 361).

mult o autorizează, făcînd ca apetitul cunoaşterii cosmice să nu mai fie atît de sever condus de raţiune. Remarcăm aici că în conştiinţa einsteiniană regula este mai severă, dar aceşti doi creatori nu urmăreau acelaşi lucru; nu era vorba de a privi mai departe, ci de a vedea mai în profunzime şi interesul pentru depărtări se diminuează din momentul în care nu mai este esenţial ca acestea să fie cunoscute pentru a introduce cunoaşterea în experienţă.

Înarmat cu o lege locală ireproşabilă din punct de vedere al logicii şi al experienţei, dar suficient de suplă, Tolman poate practica „aplicarea la cosmologie” — o expresie pe care el o utilizează şi care exprimă foarte bine punctul său de vedere. Deoarece teoria relativistă se bazează pe numeroase fapte experimentale¹, deoarece este bine verificată la scara sistemului solar, putem încerca, asumîndu-ne toate riscurile, să o aplicăm unor sisteme şi mai vaste, şi în cele din urmă Universului în întregime, „program ambiţios, plin de riscuri dar în aceeaşi măsură de interes”.

Or, ce ne-ar îndemna să ne asumăm un astfel de risc, dacă nu dorinţa de cunoaştere? Este limpede că în acest punct motivarea empirică nu mai este suficientă şi, într-un mod foarte semnificativ, îl vedem pe Tolman juxtapunînd într-o aceeaşi frază două motive de natură diferită, ba chiar aproape contrarii unul faţă de altul. Iată această frază, redată integral:

„Pentru a justifica extrapolarea, nu ne putem sprijini decît, în primul rînd, pe raţionalitatea remarcabilă şi coerenţa logică internă a teoriei relativităţii, care fac probabilă legitimitatea unor aplicaţii foarte largi şi, în al doilea rînd, pe tendinţa observată a stelelor de a se grupa în nebuloase şi a nebuloaselor de a se prezenta şi ele grupate pînă la un anumit punct, ceea ce face să pară cel puţin probabilă, pentru distanţe foarte mari, o acţiune gravitaţională de felul celei pe care o prevede teoria relativistă².”

Dar, dacă raţionalitatea internă a teoriei este cea care justifică extrapolarea cosmologică, înseamnă că această raţionalitate este chiar cea a Universului, şi cel mai bun mijloc de a ne feri de pericolul erorii şi al divagaţiei nu este acela de a privi cerul, care de la distanţă nici nu se vede bine, ci de a ne asigura mersul printr-o logică riguroasă; şi, pe de altă parte, dacă extrema generalitate a existenţei gravitaţiei este aceea care autorizează extrapolarea, atunci logica internă a teoriei relativităţii nu este decît o împreju-

¹ Nu trebuie să uităm că toate faptele care justifică teoria newtoniană a gravitaţiei pot fi invocate şi în favoarea teoriei relativităţii generalizate, care nu este totuşi o generalizare a primeia, ci o teorie de altă natură, în raport cu care teoria newtoniană apare ca o aproximare foarte bună.

² *Ibid.*, p. 331.

rare fericită, lipsită însă de o semnificație intrinsecă deosebită. Dealtfel, adaugă Tolman mai simplu și mai „sincer”, relativitatea oferă singura teorie posibilă a gravitației „și, prin urmare, sîntem forțați să folosim această teorie dacă dorim să dezvoltăm într-un mod oarecare speculațiile noastre cosmologice”. Cosmologia este prezentată deci pînă la urmă ca un scop demn de interes prin el însuși, iar teoria relativității ca singurul mijloc de a-l atinge.

Găsim la Tolman, pînă în detaliul deducției, grija unei ajustări între prescripțiile și interdicțiile epistemologiei empiriste și exigențele proprii ale gîndirii cosmologice. Partea principală a sistemului conceptual al cosmologiei relativiste este evident construirea elementului ds^2 , adică a formei metrice a spațiu-timp-ului cosmic. Pentru a rămîne cît mai aproape de observație, Tolman evită — ca și Einstein dealtfel, cu toate că într-un spirit mult diferit — să facă direct apel la principiul lui Weyl. Separarea timpului cosmic trebuie să rezulte numai din principiul izotropiei spațiale care, el însuși, poate fi considerat, după cercetările de la Mount Wilson, ca un fapt observat de om cel puțin pînă la distanța la care acesta poate privi. Izotropia antrenează omogeneitatea¹ și separarea timpului cosmic — și în această privință Tolman se arată deosebit de explicit și de grijuliu.

Dar, înlăturînd în acest fel apriorismul principiului lui Weyl, Tolman nu este totuși chit cu „supra-eul” său epistemologic. Ceea ce se constată este izotropia spațiului în raport cu noi, în anumite limite și într-o anumită epocă. Or, asupra acestui punct empiristul Tolman nu își face iluzii și nu vrea să cedeze în fața cosmologului Tolman, nici în fața cititorilor săi seduși de tentația științei cosmice: „...cu toate că am putea face în mod rezonabil cîteva extrapolări spre distanțe mai mari plecînd de la condițiile observate în imediata noastră vecinătate, nu avem nici o justificare reală pentru a presupune că Universul întreg are aceleași proprietăți ca și porțiunea pe care am văzut-o deja”².

Ne-am putea îngădui să continuăm raționamentul remarcînd că ceea ce este adevărat acum riscă să nu fie întotdeauna așa:

¹ În ceea ce privește raportul dintre izotropie și omogeneitatea spațiului, elaborarea matematică a conceptelor confirmă intuițiile simple (deși o dată nu înseamnă regula...): se poate concepe fără prea multă dificultate că, dacă un observator a cărui privire ajunge oricît de departe vede un spectacol identic în toate direcțiile, aceasta este o probă aproape sigură că proprietățile Universului sînt efectiv identice în orice punct. În caz contrar, trebuie să presupunem că observatorul este chiar în centrul de simetrie al sistemului, ipoteză antropocentrică improbabilă. Valoarea acestui raționament simplu este dealtfel confirmată de o teoremă.

² *Relativity, Thermodynamics...*, op. cit., p. 332.

cosmologia se bazează, pe scurt, pe o observație unică, care poate să se lărgească și să se precizeze, dar ale cărei condiții fundamentale nu pot varia pentru că este vorba întotdeauna de aspectul global al Universului, văzut dintr-un punct unic al spațiu-timpului (durata observațiilor umane este neglijabilă la scara cosmică). Însă un raționament prin inducție care pleacă de la o observație unică pentru a conchide un ansamblu de propoziții al căror subiect, Universul, este un unicat, nu poate revendica nici cea mai mică verosimilitate dacă vreunei axiome sau convenții nu i se garantează aprioric cel puțin posibilitatea. Strict vorbind, pentru epistemologia empirică cosmologia nu este o știință care poate fi admisă. Tolman o știe dealtfel, tocmai el, care, după ce convenise că singura sarcină posibilă pentru cosmologie este de a examina *modele*, se crede obligat să justifice această sarcină — și aproape să-l scuze pe cel care i se dedică — prin contribuția sa la înțelegerea naturii la cea mai mare scară posibilă, „țel care nu este întrecut în noblețe de nici unul din cele pe care spiritul uman le poate concepe”¹.

Ataș amentul lui Tolman la valorile experienței este atât de profund, încât tot ceea ce se îndepărtează, tot ceea ce trebuie să fie pus categoric în afara și deasupra ei, tinde să-și piardă valoarea în ochii săi. Astfel, ipoteza izotropiei spațiale, care este fundamentală, după cum am văzut, pentru deducerea lui ds^2 , este însoțită de atâtea restricții încât pînă la urmă nu mai este decît o „ipoteză de lucru sugerată de stadiul actual al cunoașterii noastre observaționale”². Și Tolman are desigur dreptate să sublinieze în legătură cu aceasta marea diferență dintre punctul său de vedere și cel al lui Milne, căruia îi citează cu această ocazie una dintre primele lucrări din domeniul cosmologiei. În sfîrșit, independent de virtuțile sale operatorii, principala valoare a principiului izotropiei spațiale părea a fi pentru Tolman aceea că el evită antropocentrismul. Există dealtfel în această concepție, negativă în aparență, multă profunzime, dar nu este încă momentul să ne oprim asupra ei.

Dealtfel dacă se admite că, îmbătrînind, un gînditor se reîntoarce la el însuși și că filozofia sa primă este cel mai bine exprimată în ultimele sale cugetări, nu rămîne nici o îndoială că înțelepciunea empirismului și suplețea sa în fața realului îl caracterizau mai mult pe Tolman decît îndrăzneala și rigiditatea monistă a spiritului cosmologic. Într-un *Memorandum* postum privind vîrsta Universu-

¹ *Relativity, Thermodynamics, . . .*, p. 333.

² *Ibid.*, p. 363.

lui¹, afirmînd convingerea sa că teoria relativității generalizate este superioară oricărei alteia, Tolman sugerează totuși că dificultățile întîmpinate în aplicarea acestei teorii la problema cosmologică se datorează excesului de importanță acordat pînă atunci postulatului că Universul este omogen. El trece în revistă mai multe motive pentru a-l pune în mod serios la îndoială și își mărturisește cu o evidentă sinceritate speranța că telescopul de la Mount Palomar — care tocmai își începea activitatea — va pune mai bine în evidență această lipsă de omogeneitate, relevînd poate prezența unor regiuni cosmice în contracție, alături de altele în expansiune. Se știe că aceasta nu s-a întîmplat.

F. Motivele și temele directoare ale unei noi cosmologii

Așadar, în tabloul Universului așa cum îl vedea cosmologia relativistă din 1930, cosmologia lui Friedman, există în același timp trăsături extrem de nete și de izbitoare, precum și altele supărător de vagi, pe care fiecare autor era mai mult sau mai puțin tentat să le precizeze, proiectînd asupra lor propria sa filozofie a științei sau a naturii. Înviorarea dezbaterii cosmologice care se va produce în deceniul al patrulea și avîntul unei mișcări a gîndirii căreia nu i se poate nega, cel puțin, măreția și îndrăzneala trebuie înțelese ținînd seama de toate acestea.

Trăsăturile frapante — și acesta este de fapt leitmotivul întregii gîndiri cosmologice contemporane — erau, mai întîi, ipoteza uniformității, confirmată de observație, și apoi consecințele relativ simple care se puteau trage de aici grație teoriei relativității generalizate, în ceea ce privește reprezentarea matematică a Universului considerat ca un tot. Altfel spus, rezulta că gîndirea cosmologică era permisă, că Universul putea fi gîndit și nu numai visat, și că cea mai generală dintre teoriile fizice susținea această gîndire. Astfel astronomia și teoria relativității făceau să renască dorința stăpînirii intelectuale a naturii și reînsuflețeau pasiunea greacă pentru contemplația cosmică.

Mai ales, această structură a Universului, parțial nedeterminată, avea cel puțin acea trăsătură indiscutabilă de a fi în mod esențial în mișcare. Nici o reprezentare matematică a Universului, spunea teoria, nu este posibilă fără separarea formei spațio-tem-

¹ R.C. TOLMAN, *The Age of the Universe*, Rev. Mod. Phys., 21, 3, 1949, pp. 374—378.

porale în spațiu și timp cosmic; dar odată evidențiat timpul cosmic, tot sistemul se pune în mișcare. În prezența devenirii, ideea de început și de sfârșit, cea de cauzalitate, se impun în mod natural și, dacă este vorba de devenirea naturii, mișcarea cea mai naturală a gândirii este cea care urcă spre origine¹. Or dacă, așa cum se întâmplă adesea, teoria matematică lasă nedecis sensul mișcării, observația, în schimb, îl fixează fără echivoc, arătând Universul în expansiune și conducând privirea spre o stare originară, condensată, singulară, de neconceput din punct de vedere fizic dar implicată matematic în cea mai mare parte a soluțiilor compatibile cu ipotezele. Trebuie să adăugăm valoarea extrem de mică a timpului cosmic — mai puțin de două miliarde de ani — impusă, pînă în 1952, prin evaluarea constantei lui Hubble.

Dacă se remarcă în sfârșit că această epocă, în care se încheie punerea la punct a elementelor indiscutabile ale cosmologiei relativiste, este de asemenea cea în care progresele conjugate ale astrofizicii și ale fizicii nucleare au deschis perspective noi în ceea ce privește geneza sistemelor fizice gigantice, cum sînt stelele, și infinitesimale, cum sînt atomii, și au aruncat o punte de legătură între unele și celelalte, se înțelege de ce, între 1930 și 1950, efortul multor teoreticieni s-a îndreptat asupra căutării unei cosmogonii în aceeași măsură — și chiar mai mult — decît asupra determinării structurale a cadrului metric al Universului.

Posibilitatea și permanenta tentație de a trece dincolo de frontierele științei pozitive — în orice caz, imperioasa necesitate de a stabili cu precizie aceste frontiere — apăreau odată cu această căutare. Rareori se impusese atît de net ideea că anumite caractere ontologice ale naturii, în special temporalitatea, impun cunoașterii fizice certitudinea limitării sale. Conceptul de *creație*, uitat de mult timp de filozofia naturii, se ivea din nou în gândirea și în scrierile cosmologilor.

Aspectul dinamic al Universului se impunea deci. În schimb, determinarea exactă a unei structuri geometrice singulare adecvate lumii reale — în aproximația ipotezelor de uniformitate — părea imposibilă sau hazardată, expusă unor incertitudini legate de opinie și de credință. Paralel, axiomatica cosmologiei rămînea încă nesigură din punct de vedere filozofic, deși din punct de vedere tehnic era viabilă. Însăși forma ecuațiilor care urmau să fie aplicate era îndoielnică, fără a se putea evidenția vreun argument decisiv pentru sau contra introducerii termenului cosmolo-

¹ Pentru Kant, după cum se știe, infinitatea timpului în viitor nu dă loc la nici o antinomie.

gie, de care depindeau atâtea lucruri. Trebuia oare aleasă formula cea mai simplă, sau cea mai generală? Trebuia înlăturată constanta Λ pentru că aceasta complică ecuațiile și nu poate fi determinată prin experiență? Trebuia, dimpotrivă, menținută pentru că este justificată din punct de vedere matematic și dă în mod natural teoriei relativității o prelungire cosmică? Cum să răspunzi unor astfel de întrebări altfel decât condus de preferința personală?

Pe de altă parte, însăși natura ipotezelor asupra uniformității — în același timp fizice, geometrice, epistemologice, sugerate de observație, dar impuse în cele din urmă de rațiune — se cerea precizată. Deoarece posibilitatea spațiului infinit nu putea fi exclusă în mod categoric, observația astronomică efectivă trebuia să fie considerată drept *locală*, chiar la scara fantastică a domeniului explorat de telescopul Hooker. Și ce am putea spune despre ipoteza timpului cosmic, atât de contrară, la prima vedere, spiritului teoriei relativității? Fie că este luată, sub numele de principiul lui Weyl, ca un postulat autonom, fie că se face din ea o simplă consecință a izotropiei spațiale, adăugată presupunerii că în orice punct există o mișcare medie a materiei, tot se strecoară o axiomă apriorică în sistemul ipotezelor, pentru a limita generalitatea principiului relativității. Care este justificarea sa? Este empirică, ontologică, sau transcendentă?

Aceste remarci conduc la cea de-a doua cale pe care s-a angajat cosmologia începînd din 1930. Este vorba de a concepe clar și de a duce la bun sfîrșit proiectul unei cosmologii cu adevărat axiomatică și deductivă, în principiu independentă de teoria relativității, o știință pentru care conceptul de univers, structura metrică a spațiu-timp-ului ar fi elaborate nu prin extrapolare, plecînd de la observații locale, ci aprioric, prin referire directă la noțiuni și principii epistemologice. Acest program va da naștere la rîndul său unei noi tentații de depășire a frontierelor științei, fără a ține seama de experiență.

Partea a doua

TEORII COSMOLOGICE

Capitolul IV

IDEI PENTRU O COSMOLOGIE NOUĂ

Proiectul a ceea ce vom conveni să numim „cosmologia nouă” sau, mai limitativ, „cosmologie deductivă”, se schițează, chiar din 1927, în anumite pasaje ale cărții lui Eddington *The Nature of the Physical World*. El începe să se realizeze în 1932, sub impulsul viguros al lui E.A. Milne și își găsește pentru prima oară desăvârșirea în teoria *relativității cinematice* a acestui autor și a principalilor săi colaboratori în această direcție: G.J. Whitrow și A.G. Walker. În 1950, în momentul în care opera lui Milne se încheia odată cu viața sa, alți autori mai tineri, H. Bondi și T. Gold, urmați curînd de F. Hoyle, reliau programul său și construiau, într-un spirit și pe baza unor principii metodologice destul de asemănătoare cu ale sale, o teorie sensibil diferită. La cincisprezece ani de la fondarea ei, această teorie se menține încă și și-a găsit noi adepți. Comparativ cu ea, cosmologia relativistă — sprijinită pe teoria relativității generalizate, mai viguroasă ca oricînd — este considerată de mulți savanți ca singura teorie sigură. Este însă indiscutabil că ea nu a reușit să depășească punctul în care ajunseseră fondatorii săi în 1930; tentativele cele mai cunoscute — mai ales cele ale lui Heckmann și ale colaboratorilor săi — au fost făcute pe baza unor modele neomogene sau anizotrope.

Pe de altă parte, între cosmologia relativistă în prima sa formă (adică cu principiul lui Weyl și cu ipotezele de izotropie și uniformitate), relativitatea cinematică a lui Milne și teoria stării staționare a lui Bondi și Gold¹ s-a stabilit un fel de corespondență la nivelul cel mai abstract. Aceasta mai ales grație lucrărilor unor matematicieni, angajați sau nu într-o teorie sau alta, care au reușit să demonstreze că un același formalism matematic poate să

¹ Pentru comoditate, de acum încolo vom desemna prin literele R.G. teoria relativității generalizate, prin R.C. teoria relativității cinematice și prin T.S.S. teoria stării staționare.

exprime toate aceste teorii, diferența dintre ele provenind din conținutul conceptual al simbolurilor și din mersul raționamentului. Walker, colaborator al lui Milne, și Robertson, cărui i se datorează în mare parte punerea în formă matematică definitivă a cosmologiei relativiste, au ajuns în această privință la rezultate care concordă perfect, cu toate că metodele și părerile lor erau mult diferite.

În sfârșit, în timpul aceleiași perioade și mai ales între 1930 și 1950, alți autori — urmînd iarăși o idee a lui Eddington, după părerea lor prost exploatată de inițiatorul ei — P.A.M. Dirac și P. Jordan, au abordat problema cosmologică considerînd ca un fapt fundamental existența unor relații remarcabile și deosebit de simple între toate constantele numerice ale fizicii.

Aceste teorii diverse, cu presupunerile și prelungirile lor epistemologice și filozofice — dar separat de consecințele lor cosmologice, care vor fi examinate ulterior — vor face obiectul acestei a doua părți a cărții de față.

Cuvîntul cosmologie *deductivă*, de care ne vom servi pentru a caracteriza cel puțin teoriile R.C. și T.S.S., în prima sa formă, se va lămurii de la sine în cursul expunerii. Este suficient pentru moment să remarcăm că cosmologii primei generații, cu toate deosebirile importante care îi despărteau, erau în orice caz de acord că ecuațiile teoriei R.G. — completate sau nu cu termenul în Λ , dar avînd sensul fizic atribuit de Einstein — trebuiau să furnizeze baza indispensabilă a edificiului cosmologic. Construirea unei teorii cosmologice, indiferent ce formă tehnică ar fi putut să ia aceasta, rămîne deci în esență o operație de inducție și de extrapolare pornind de la o teorie locală. Noua cosmologie — lăsînd la o parte, desigur, tentativele de reînnoire a cosmologiei relativiste, care nu transformă decît ipotezele suplimentare — tinde dimpotrivă să răstoarne ordinea operațiilor, ca și pe cea a valorilor epistemologice : la nivel cosmic, ba chiar la scara locală, ecuațiile einsteiniene ale cîmpului încetează să mai fie valabile în mod necesar. În schimb, postulatele suplimentare pe care teoria relativității le introducea pentru ca problema să fie determinată — și al căror statut epistemologic rămînea destul de nesigur, așa cum am încercat să arătăm — devin adevărate axiome ; structura metrică a Universului idealizat trebuie să se *deducă* din ele. Dacă acestei structuri cosmice trebuie să i se adauge o teorie locală a gravitației sau a cîmpului electromagnetic, aceasta devine o problemă secundară din punctul de vedere al cosmologiei, cel puțin în sensul că ea trebuie să fie tratată *după* și nu *înainte* de definirea *substratum*-ului metric. În privința acestei scheme metodologice,

există un acord deplin cel puțin între autorii teoriilor R.C. și T.S.S. și aceasta justifică suficient, în mare, adjectivul deductiv folosit pentru desemnarea acestor două teorii.

Această cosmologie nouă, lucrul nu poate fi ascuns — în parte datorită disprețului pe care l-a arătat față de metodologia tradițională a științei fizice — nu a fost primită cu o bunăvoință deosebită în lumea fizicienilor, în care conducătorii mișcării cosmologice apăreau deseori în postura de luptători de guerilă. La sfârșitul carierei sale, Eddington s-a angajat într-un labirint intelectual în care puțini dintre apropiații săi au vrut să-l urmeze. Milne, situându-se cu din ce în ce mai multă trufie pe poziția unui „eretic” față de știința „oficială”, a întâmpinat cu atîta dispreț criticile și obiecțiile încît a sfîrșit prin a face un fel de deșert în jurul lui, iar după moartea sa cercetările sale nu au fost în nici un fel continuate. Cît despre Gamow și Hoyle, aceștia sînt astrofizicieni cu mari merite pe care o excepțională disponibilitate spirituală i-a condus spre cosmologie sau cosmogonie — ba chiar și spre ficțiunea științifică — tocmai pentru că acestea sînt domenii deschise talentului, propice ideilor originale.

Pe scurt, considerînd personalitatea cîtorva dintre protagoniștii ei, ca și locul de fapt restrîns pe care îl ocupă în cadrul științei, am putea fi tentați să vedem în noua cosmologie un fenomen marginal, o floare rară și delicată, dar într-un fel excepțională în mijlocul vegetației stufoase care înfloarește în periodice, colocvii și simpozioane. Fără îndoială că aceasta este părerea celor mai mulți fizicieni.

Totuși aceasta ar însemna nrecunoașterea importanței reale a mișcării cosmologice în știința contemporană. Mai întîi trebuie să atragă atenția durată sa. Eddington s-a născut în 1882, Bondi în 1919; primele memorii asupra relativității cinematice au apărut de mai bine de treizeci de ani; cartea lui Sciama despre „unitatea Universului”, în care se afirmă mai viguros ca oriunde spiritul cosmologiei deductive, a fost publicată în 1959. Treizeci de ani reprezintă în secolul al XX-lea o perioadă lungă pentru o idee sau pentru o metodă, mai ales dacă avem în vedere că cosmologia deductivă se înscrie de fapt într-un curent de idei și de cercetări mult mai vechi: ea se leagă explicit, prin teoria relativității, de ipotezele lui Mach asupra principiului inerției, de rezultatele lui Helmholtz și Lie asupra reprezentării geometrice a spațiului fizic, de analizele lui Painlevé asupra axiomelor dinamicii. Pe de altă parte, dacă dezbaterea cosmologică nu a reținut întotdeauna întreaga atenție a unui număr foarte mare de savanți, ea a suscitat totuși, cel puțin în perioada la care ne referim, un mare interes,

datorat în parte perspectivelor diverse deschise de cosmologii noi şcoli. Faptul că un Dirac şi un Gödel şi-au adus contribuţia, chiar dacă numai în mod ocazional, este suficient pentru a dovedi că aceste perspective duc destul de departe.

Se poate obiecta că deşi noua cosmologie este destul de întinsă în timp, ea este mai restrânsă în spaţiu, fiind destul de strict limitată la insulele britanice. Chiar şi în epoca contemporană, însă, localizarea geografică nu exclude pentru o mişcare culturală un sens şi o importanţă universală.

Credem de asemenea că cosmologia deductivă nu trebuie considerată ca o ramură îndepărtată a teoriei relativităţii, ci ca o construcţie autonomă, a cărei importanţă rezidă numai în principiile şi rezultatele proprii, şi al cărei sens filozofic este la urma urmelor atât de bogat încât în această privinţă ea merită o examinare deosebit de atentă.

Originea şi motivarea mişcării cosmologice pot fi înţelese, din punct de vedere istoric, printr-o serie de consideraţii tehnice destul de numeroase şi de precise. Trebuie însă mai întâi să situăm sumar această mişcare într-un context filozofic mai larg.

Filozofia noilor cosmologi

La marea majoritate a partizanilor noii cosmologii se întâlneşte o anumită aversiune faţă de metodologia empiristă şi pozitivistă, care era tradiţională în ştiinţa fizică şi „oficială” mai ales în ţările anglo-saxone. Gaston Bachelard vorbea de o „epistemologie necarteziană” pentru a caracteriza filozofia pe care o discerna în ştiinţa timpului său. De cealaltă parte a Canalului Mîneei, militase însă tot timpul, începînd din secolul al XVII-lea o anumită epistemologie necarteziană, iar dacă ţinem seama de cosmologia iniţiată la Oxford prin 1930, atunci trebuie să vorbim mai curînd de o epistemologie „nemilliană”¹. În prima treime a secolului al XX-lea răsturnările fizicii au fost de o asemenea anvergură, încît nici unul din conceptele epistemologice, nici unul din preceptele eticii ştiinţifice moştenite din secolele anterioare nu a putut să reziste pe deplin. Cosmologii, despre care vorbim aici, au fost deosebit de sensibili la insuficienţele filozofiilor bazate pe inducţie; ar trebui totuşi să ne ferim să asociem prea strîns noua cosmologie unei epistemologii bine definite. La Milne, Whitrow, Bondi refuzul empirismului este deliberat. Dar asupra acestui punct ca şi asupra altora, gîndirea lui Eddington este mult mai subtilă, iar la Hoyle, ruptura cu empirismul tradiţional este departe de a fi consumată.

¹ Este vorba de filozoful englez J. St. Mill. — N. T.

În noua cosmologie, dealtfel ca și în cosmologia relativistă, nu au fost angajate numai valori epistemologice, ci și valori etice și religioase. Accentul pe care i l-au dat unii dintre fondatorii săi o situează în mișcarea generală de reacție contra scientismului, una din trăsăturile marcante ale ideologiei secolului al XX-lea. În ochii multor savanți, progresele științei înseși, nu criticile filozofilor au făcut să apară sărăcia derizorie a anumitor dogme științifice. În ochii noilor cosmologi — cel puțin ai unora dintre ei — viziunea materialistă a Universului era condamnată irevocabil și, în consecință, teologia tradițională era repusă în drepturile sale asupra naturii.

Au meditat oare Eddington și Milne la maxima lui Pascal că dacă o mică parte a științei se îndepărtează de Dumnezeu, o mare parte revine la el? Fără îndoială, ei nu ar fi aprobat-o, deși în această privință Eddington s-a arătat mult mai prudent decât rivalul său.

Totuși această dorință de a asocia noua cosmologie unei credințe religioase, sau unor valori filozofice, de a înțelege ceea ce o deosebește de știința tradițională ca urmare a unei opoziții între două metafizici, această investiție etică nu este comună tuturor autorilor care au contribuit la dezvoltarea sa. Whitrow, filozof mai profund decât Milne, deși dă un sens categoric idealist teoriei R.C., se ferește totuși de orice aluzie la o posibilă confruntare cu preceptele teologice, ba chiar filozofice ale creștinismului. La Bondi, nu se găsește nici cea mai mică aluzie la o metafizică oarecare, nici cea mai mică urmă a vreunui gând religios ascuns. În ceea ce îl privește pe Hoyle, filozofia sa asupra naturii, mai curînd panteistă, este în mod explicit și deliberat opusă celei a creștinilor, a căror atitudine în fața Universului, mai ales concepția unei supraviețuiri personale, el o critică cu asprime.¹ Cu toate că opera lui Eddington și cea a lui Milne, datorită personalității lor excepționale, au dat un puternic impuls cercetărilor cosmologice în spirit deductiv și le-au asigurat un fel de reputație filozofică, motivele etice și religioase nu au jucat de fapt decât un rol foarte restrîns în aceste cercetări.

Avîntul și succesul formalismului și al metodei axiomatice în logică, în matematică și chiar în fizica teoretică au reprezentat desigur o încurajare pentru încercarea de a aborda aprioric problemele cosmologiei, așa cum o dovedește rolul jucat de algebra „numerelelor-*E*” în teoria finală a lui Eddington și, într-un mod mai convingător, folosirea sistematică de către Whitrow, Walker și

¹ F. HOYLE, *La Nature de l'Univers*, trad. Busso și Papy., P.U.F., Paris, 1952, pp. 130—131.

Robertson a teoriei grupurilor continue de transformări pentru definirea cadrului metric al Universului. Într-adevăr, se dovedea că gîndirea formală poate fi creatoare, că deducția nu este condamnată la sterilitate, că numai o epistemologie foarte îngustă poate reduce conceptul matematic la un simplu reziduu schematic al abstracției și al generalizării. În această privință se poate observa un anumit paralelism între dezvoltarea cosmologiei și cea a fizicii cuantice, în care se afirma, în aceeași perioadă, de la Heisenberg la Dirac și la von Neumann, spiritul axiomatic.

Motivele tehnice ale noii cosmologii

Dacă ne situăm acum pe un plan strict tehnic, motivarea noii cosmologii a fost explicată parțial prin neajunsul cel mai evident al cosmologiei relativiste: teoria relativității generalizate, teorie diferențială și locală, extrem de suplă, lasă nedeterminată soluția problemei cosmologice, chiar și atunci cînd se adaugă ecuațiilor sale ipoteze de uniformitate, străine în orice caz de esența sa, deși lor li se datorează în parte fizionomia universurilor relativiste. Punctul de vedere al adepților cosmologiei deductive ar putea fi exprimat foarte schematic, dar destul de exact, spunînd că R.G. nu este nici suficientă nici necesară pentru obținerea unei soluții satisfăcătoare a problemei cosmologice. Ea nu este suficientă datorită acestei nedeterminări, pe care o amintim încă odată; chiar dacă din motive indiscutabile un model relativist ar putea fi ales, ar rămîne faptul că principiul lui Mach, pe care Einstein îl considerase de la început și în mod firesc ca fiind esențial asociat soluției problemei cosmologice, nu poate fi satisfăcut în cosmologia relativistă. Dar R.G. nu este nici necesară cosmologiei; este ceea ce va demonstra, chiar de la începutul deceniului al patrulea, primul fondator al cosmologiei deductive, E. A. Milne.

În 1917, Einstein pusese deci problema cosmologică, fără a avea, contrar a ceea ce spera, mijloacele necesare pentru a o rezolva; dar motivele profunde pe care le avea pentru a pune această problemă, pe care le-am analizat într-un capitol precedent, rămîneau în continuare valabile. Toți cei cărora încercarea sa și, alături de ea, descoperirile făcute la Mount Wilson le stîrniseră entuziasmul, rămîneau nesatisfăcuți.

Cu atît mai mult cu cît problema generală și abstractă a cadrului metric al realității fizice lua pentru astronomie un aspect cu totul practic și concret: într-adevăr, explorarea metodică a Universului îndepărtat, confruntarea rezultatelor teoretice ale

cosmologiei relativiste cu datele, din ce în ce mai abundente, ale observației extragalactice scoteau în evidență din ce în ce mai clar faptul că nu există decît o omonimie periculos de vagă între operația de „măsurare” a distanței unui sistem cosmic și „măsurarea” unei lungimi într-un laborator construit pe suprafața Pămîntului. Dealtfel, este adevărat că în astronomie nici o *distanță* nu este obiectul unei măsurători directe. Atunci cînd este vorba de Lună, sau chiar de stelele cele mai apropiate, chiar dacă reconstituirea celor trei dimensiuni „reale” pune probleme practice extrem de delicate de îndată ce se cere un anumit grad de precizie, determinarea distanțelor nu ridică nici o problemă teoretică. Distanța pînă la Vega nu se citește pe un telemetru atașat telescopului, dar se știe cu siguranță de ce mărime este vorba și cum poate fi introdusă aceasta în formule. În schimb, dacă este vorba de un roi de galaxii a cărui distanță nu ne putem aștepta să fie inferioară mai multor zeci de milioane de ani-lumină, nu numai că pentru a o măsura practic trebuie să se introducă o serie de ipoteze de lucru, fiecare comportînd un anumit risc, dar, mai mult, trebuie să ne înțelegem asupra a ceea ce numim distanță, căci cuvîntul nu mai are un sens imediat evident. Intervin proprietățile fizice ale luminii precum și proprietățile globale, geometrice, cinematice și fizice ale sistemului de galaxii, chiar cele ale galaxiilor individuale și ale stelelor. Etalonarea distanțelor se bazează pe cea a luminozităților observate, care depind simultan de poziția spațio-temporală relativă a sistemului observat și a observatorului, de proprietățile primului și de legile sale de evoluție și, poate, de densitatea mediului care se interpune. Căci între plecarea semnalului luminos și sosirea sa în aparatul observatorului apare o întîrziere și, pe măsură ce se observă obiecte mai îndepărtate, această întîrziere crește pînă la egalarea duratei probabile a marilor transformări astrofizice. Geometria sistemului cosmic, cinematica sa, evoluția sa fizică, toate acestea sînt deci implicate în orice măsurătoare asupra Universului îndepărtat, a cărui cunoaștere empirică depinde de fapt de alegerea unei teorii cosmologice.

La sfîrșitul deceniului al treilea, cînd Hubble și Humason au anunțat găsirea unor viteze de recesiune de mai multe mii de kilometri pe secundă, chiar și cei mai puri descendenți ai „fiilor Pămîntului”, despre care se vorbește în *Sofistul*, au fost obligați să recunoască necesitatea unei clarificări teoretice. Dar, în timp ce Tolman, de exemplu, se străduia să definească în cadrul cosmologiei relativiste raportul dintre coordonatele metricii riemanniene ale spațiu-timp-ului și mărimile măsurate de astronomi, spiritele care deja se îndoiau de utilitatea cosmologică a R.G. erau înclinate

mai curînd să considere că problema rețelei metrice a astronomiei trebuia să fie pusă direct și nu prin referirea la o teorie fizică. Aceasta moștenise de la știința clasică postulatul că orice măsurătoare poate fi redusă, fie chiar indirect, la citirea unei lungimi pe o riglă rigidă și la citirea unui interval de timp pe un ceas.

Și alte motive tehnice sugerau să se încerce o remodelare a principiilor cosmologiei. Cel mai important din punct de vedere istoric și poate chiar cel esențial, era dificultatea legată de scara timpului cosmic. Am întîlnit-o mai înainte și am indicat rolul important pe care ea l-a jucat în elaborarea cosmologiei relativiste. Etalonarea distanțelor extragalactice fusese făcută de Hubble — primul mare arpentor al Universului — în așa fel încît expansiunea galaxiilor apărea extrem de rapidă, mult prea rapidă pentru a fi în acord cu ceea ce se putea ști despre durata probabilă a marilor transformări astrofizice. Într-adevăr, presupunînd că expansiunea este liniară, cu alte cuvinte că toate galaxiile își conservă indefinit vitezele relative, măsurătorile lui Hubble conduc la concluzia că toate galaxiile se găseau în contact acum 1,8 miliarde de ani, durată în cadrul căreia este imposibil să se producă formarea stelelor și a planetelor; după cum am spus, această valoare a constantei de recesiune exclude numeroase modele relativiste, mai ales modelele celei de-a doua cosmologii a lui Einstein, cu constanta cosmologică nulă, și nu lasă vérosimil decît modelul lui Lemaître-Eddington și al doilea model al lui Lemaître.

Or, cu toate rezervele care existau în ceea ce privește exactitatea măsurătorilor lui Hubble (Einstein le exprima foarte net), autoritatea maestrului de la Mount Wilson era atît de mare încît măsurătorile sale nu au fost contestate în mod serios înainte de 1952, dată la care informațiile obținute cu telescopul Hale de cinci metri i-au permis lui Walter Baade să propună o primă revizuire sistematică a scării distanțelor cosmice. Între timp, adică între 1930 și 1952, fuseseră propuse cele două cosmologii deductive principale, R.C. și T.S.S. Nici una nici cealaltă nu își propuneau ca scop direct depășirea dificultății scării timpului; totuși, fapt este că amîndouă i-au făcut față, fiecare în felul ei, așa cum vom vedea.

În sfîrșit, constatarea unor coincidențe numerice în combinațiile fizic adimensionale ale constantelor empirice oferea un ultim motiv pentru a încerca reînnoirea teoriei cosmologice. Într-adevăr, existența acestor coincidențe imprevizibile și improbabile între numere care interesează pe de o parte Universul, iar pe de altă, structurile microfizice, sugera ideea că o teorie fizică destul de

profundă ar trebui să le explice. Această idee lansată de Eddington reține atenția unora dintre maeștrii fizicii cuantice, îndeosebi a lui Dirac și Schrödinger. Se putea într-adevăr pune întrebarea dacă dificultățile de principiu întâmpinate simultan și independent de știința elementarului și de cea a întregului, de microfizică și de cosmologie, nu aveau aceeași origine și nu urmau să fie rezolvate împreună. Eddington și-a luat această sarcină; cu toate că el a fost departe de a o îndeplini într-un mod care să-i mulțumească pe toți, eșecul său nu l-a descurajat nici pe Dirac nici pe Jordan și rămîne adevărat că joncțiunea dintre microfizică și cosmologie este ambiția ultimă a tuturor cosmologilor pentru care coincidențele numerice sînt încă o enigmă fundamentală.

Între autorii diferitelor încercări de a pune în practică proiectul unei cosmologii deductive, acordul este de fapt mai larg și mai esențial în ceea ce privește principiile decît în ceea ce privește consecințele care rezultă din acestea. Complete sau fragmentare, aceste teorii se leagă unele de altele într-un anumit sens, fiecare străduindu-se să realizeze mai bine intențiile teoriei predecesoare decît a făcut-o ea însăși; astfel se situează, pînă la un anumit punct, T.S.S. în raport cu R.C. Este deci important, din punct de vedere filozofic și istoric, să se explice cît mai complet posibil conceptele și postulatele a căror asamblare formează cel mai mare divizor comun, cu rezerva de a face să reiasă apoi clar nu numai diferențele tehnice, dar și cele filozofice.

Fundamentele cosmologiei deductive: fizica și cosmologia

Prima regulă pe care și-o impun cosmologii din noua școală este deci de a pune la baza științei lor principii epistemologice și principii neempiriste. Pentru ei inducția care pornește de la experiența locală nu este adevărata sursă a cunoașterii cosmologice care trebuie să se stabilească în esență aprioric; în esență, adică în tot ceea ce privește structura metrică a realității fizice.

Aceasta implică mai ales o concepție asupra relațiilor dintre fizică și cosmologie destul de diferită de cea care îi este asociată în mod natural epistemologiei inductive: în loc să fie termenul ultim al unei extrapolări, cosmologia devine știință primară din punct de vedere logic, o știință căreia fizica trebuie să-i împrumute propriile sale principii. Aceasta este teza pe care Milne a încercat să o pună în practică deducînd dinamica cosmologiei;

aceasta este teza pe care Bondi o oferă unei „școli de gândire” care este evident a sa¹.

La originea teoriei cosmologice trebuie deci să se pună un fel de deducție transcendentă (în sensul lui Kant) a metricii universale, căci definirea acestei structuri trebuie să rezulte din răspunsul la întrebarea: „Cum trebuie să fie Universul pentru ca el să poată fi obiectul unei cunoașteri metrice coerente, în principiu comunicabilă de la orice observator la oricare altul, oricare ar fi poziția lor relativă în spațiu și în timp?”. Am spus intenționat deducție „transcendentă” și nu deducție formală căci, ceea ce este în discuție, nu este un sistem simbolic, ci adevărata idee de univers și definirea acestui adevăr. Niciodată cosmologii acestei școli nu au considerat confruntarea construcțiilor lor teoretice cu observația astronomică sau cu experiența fizică drept lipsită de importanță și fără obiect, cu toate că sensul acestei confruntări ar fi, cel puțin pentru Milne, sensibil diferit de cel considerat de obicei.

În plus, cu toate că ei folosesc un aparat matematic foarte bine pus la punct, a considera aceste teorii ca teorii matematice ar fi ceva contrar naturii lor. În cele optsprezece pagini istorice ale memoriului în care este expusă T.S.S.² și în care este exprimată o gândire excepțional de densă, autorii numerează cinci ecuații — dintre care ultimele două sînt formule clasice de astronomie — și numai atît. În memoriul lui Gold asupra ireversibilității termodinamice și expansiunii Universului³, memoriu despre care vom mai vorbi, nu există decît o ecuație numerotată. Cel puțin, la acești autori este evidentă intenția de a situa enunțurile fundamentale într-o regiune logică plasată oarecum în afara aserțiunilor care se pot exprima și dezvolta cu ajutorul formalismului matematic. Este în schimb adevărat că aparatul matematic al teoriei R.C. este impresionant și că Bondi și Gold puteau să se sprijine pe opera predecesorilor lor, în special Milne, Whitrow, Robertson și Walker, care deplasaseră sensibil, făcuseră să „avanseze” într-o oarecare măsură, în lanțul raționamentelor cosmologice, punctul în care formalismul matematic putea să intre în

¹ „Din acest punct de vedere, cosmologia este cea mai fundamentală dintre științele fizice, adevăratul punct de plecare al oricărei examinări științifice” (H. BONDI, *Cosmology*, Cambridge, 1952; ed. a II-a, 1960, p. 5). Dacă această cale a fost neglijată pînă acum, aceasta s-a întimplat, după Bondi, din cauza aversiunii pe care o aveau savanții secolului al XIX-lea pentru filozofie.

² H. BONDI, T. GOLD, *The Steady State Theory of the Expanding Universe* Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 108, 3, 1948, pp. 252—270.

³ T. GOLD, *The Arrow of Time in La Structure et l'Evolution de l'Univers*, C.R. du XI^e Conseil de Physique Solvay, Stoops, Bruxelles, 1958, pp. 81—91.

joc, folosind mai ales teoria grupurilor pentru a exprima condițiile generale de regularitate și de covarianță cerute aprioric, conform cosmologiei deductive, unui model de univers. Dar, acordînd deplină încredere, pe plan matematic, înaintașilor lor, autorii T.S.S. înțelegeau să demonstreze tocmai faptul că adevărata originalitate a teoriei lor se situa în afara acestui domeniu. Epistemologia noilor cosmologi este deci „transcendentală”, în sensul că pentru ei este vorba de determinarea conceptului de univers în funcție de exigențele raționale și metrice ale cunoașterii fizice și de a verifica pînă în ce punct observația autorizează rezultatele care pot fi obținute aprioric din acest concept.

Pe de altă parte, pentru acești cosmologi modul de tratare a conceptului de univers reprezintă un prilej de stabilire a unei diferențe de principiu între cosmologie și celelalte științe fizice. După Kant, cuvîntul *Univers* a căpătat un dublu sens: el poate fi înțeles în sensul realist și naiv al lumii naturale luată în totalitatea sa, dar și într-un sens logic și structural; Universul este în acest caz ansamblul formelor și legilor care, în reprezentarea științifică a naturii, ordonează și determină cursul fenomenelor observabile. Fizica tradițională s-a obișnuit să distingă, în studiul unor ansambluri fizice, legile de structură, care reglează în mod necesar evoluția, de datele inițiale, contingente, care dau acestei evoluții fizionomia sa particulară și pe care numai observația o poate face cunoscută în fiecare caz în parte. Ea are deci tendința să trateze Universul (în primul sens) ca pe un sistem condus de legi identice cu cele care permit înțelegerea fenomenelor locale, dar al căror aspect și evoluție nu pot fi explicate și prezise decît introducînd în discuție cunoașterea empirică și nesigură a proprietăților reale pe care le poate avea sistemul cosmic.

Dar tocmai această idee este contestată de noua cosmologie; această contestare este unul din motivele apariției teoriei lui Milne și stă în mod net și deliberat la baza T.S.S. Datorită unicității Universului, spun Bondi și Gold, este imposibil să se discearnă printre proprietățile sale cele „accidentale” de cele „inerente”. Căci, atunci cînd avem de-a face cu un obiect unic, o comparare care să permită această deosebire nu mai este posibilă. „Unicitatea Universului real face imposibil să se distingă pe baze pur observaționale trăsăturile sale generale de trăsăturile sale particulare, chiar dacă această distincție ar putea fi susținută logic ¹”, scrie Bondi, adăugînd că în cosmologie cu greu poate fi făcută o distincție între mișcările reale și legile de mișcare ². Altfel spus,

¹ *Cosmology, op. cit.*, p. 10.

² *Ibid.*, p. 124.

în sistemul de gândire al cosmologiei deductive, distincția dintre cele două sensuri ale cuvântului Univers nu este valabilă. Faptul că „conținutul real al Universului nu are semnificație decât în aceeași măsură ca și legile care îl guvernează”¹ reprezintă o „lege” a cosmologiei chiar și pentru Sciama. Evident, pe această „lege” se baza Milne atunci când încerca, în condiții pe care le vom preciza, să deducă „legile de mișcare” ale particulei libere, apoi legea gravitației, apoi pe aceea a cîmpului electromagnetic, pornind de la definiția *substratum*-ului cosmic².

Opoziția dintre noii cosmologi și cei pe care atașamentul lor față de o metodologie mai tradițională îi împiedica să se abată de la teoria R.G. apare net atunci când este vorba de a aprecia valoarea respectivă a legilor de origine experimentală și a ipotezelor cosmologice apriorice.

T.S.S. implică o modificare a principiului de conservare a materiei-energiei, modificare echivalând cu o generare continuă de materie *ex nihilo*. Dar această generare ipotetică este atât de slabă cantitativ, încît nu este posibil să se discearnă pe cale experimentală directă consecințele principiului tradițional de cele ale principiului modificat. Autorii și partizanii T.S.S. consideră că această modificare este permisă, pentru că ei nu se simt obligați să atribuie unui enunț de origine empirică (principiul tradițional de conservare) o încredere care să se întindă dincolo de limitele unei verificări experimentale dacă nu efective, cel puțin imaginabile. În ochii lor, extrapolarea dincolo de aceste limite nu poate avea mai multă justificare decât folosirea unui principiu aprioric — în speță „principiul cosmologic perfect”, al cărui conținut va fi precizat în continuare — pe care observația nu îl contrazice și a cărui utilitate și eficacitate pot fi solid stabilite în orice alt mod.

Dimpotrivă, cosmologii fideli teoriei R.G. consideră că valoarea principiului tradițional de conservare trebuie presupusă absolută atîta timp cît această presupunere nu va fi infirmată de date experimentale pozitive și precise. O. Klein, de exemplu, fără a contesta valoarea abstractă a principiului cosmologic perfect, găsește ilegală folosirea lui atunci când implică modificări

¹ D.W. SCIAMA, *Les Trois Lois de la Cosmologie*, trad. L. Bouche, Annales de l'Institut Henri Poincaré, XVII, 1961, p. 21.

² „... Cercetările mele au arătat că conținutul Universului determină legile naturii care trebuie îndeplinite” (E. A. MILNE, *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, Oxford, 1952, p. 71).

speciale ale legilor experimentale¹. O poziție analoagă iau Schücking și Heckmann, considerînd ca o practică sănătoasă abținerea de la speculații în sensul lui Bondi, Gold și Hoyle, atîta timp cît nu vor exista probe empirice solide ale generării continue².

Principiul cosmologic

Exigențele epistemologice pe care noii cosmologi consideră că trebuie să le satisfacă aprioric orice model de univers își găsesc cea mai simplă și cea mai netă expresie tehnică în enunțul pe care Milne l-a denumit „principiul cosmologic” și, cu atît mai mult, în acela, încă mai riguros, pe care autorii T.S.S. îl numesc „principiul cosmologic perfect”. Mulțumindu-ne pentru moment cu formularea cea mai simplă și mai concisă a acestor principii, sensul principiului cosmologic este acela că la o scară suficient de mare, Universul prezintă aceeași înfățișare oricărui observator, indiferent de poziția sa; la aceasta, principiul cosmologic perfect adaugă că Universul prezintă o astfel de înfățișare *în orice moment*. La drept vorbind, acest principiu nu este absent din construcțiile cosmologiei relativiste. Dealtfel Milne folosește, în prima sa lucrare, termenul de „principiul cosmologic al lui Einstein”; și într-adevăr, așa cum am văzut, Einstein și toți cei care l-au urmat determinau într-o anumită măsură soluțiile cosmologice ale ecuațiilor gravitației prin adăugarea unor ipoteze de omogeneitate și de uniformitate. Milne transformă însă complet sensul și semnificația principiului. Într-adevăr, ceea ce postulează atît el cît și, după el, succesorii școlii deductive, nu este faptul că substanța Universului are o anumită uniformitate, ci că toate *înfățișările* Universului ar fi identificabile.

Această schimbare a punctului de vedere este practică în mod foarte explicit și deliberat de către Milne în capitolul III al primei sale lucrări de sinteză³. În forma pe care i-o dă cosmologia relativistă, principiul cosmologic revine la a stabili că materia este distribuită omogen în spațiu, presupunînd, în plus, că densitățile se pot egaliza în așa fel încît conținutul Universului să poată

¹ O. KLEIN, *Some Cosmological Considerations In Connexion With the Problem of the Origin of Elements*, în *Les Processus nucléaires dans les astres*, Mémoires de la Société Royale des Sciences de Liège, XIV, 1954, p. 43.

² E. SCHÜCKING, O. HECKMANN, *World Models*, în *La Structure et l'Évolution de l'Univers*, op. cit., p. 150.

³ E.A. MILNE, *Relativity, Gravitation and World-Structure*, Oxford, 1935, pp. 60—71.

fi asimilat cu un fluid continuu. Milne nu pune la îndoială utilitatea acestei ipoteze, dar remarcă că, dacă Universul nu mai este static, definirea omogeneității devine delicată: trebuie în acest caz să se convină asupra definirii *epocii* în care densitățile locale trebuie să fie considerate egale în două puncte diferite. Cosmologia relativistă aduce acestei probleme o soluție geometrică: definirea unei metrici riemanniene, alegerea geodezicelor lui Weyl și a „timpului cosmic” asociat acestei familii de geodezice. În ceea ce îl privește, Milne preferă o soluție inedită în legătură cu conceptul său de „echivalență”¹, care transformă sensul principiului cosmologic; în cauză, nu mai este *conținutul* Universului, ci *înfățișările* sale: fiecare observator trebuie să descrie Universul în propriul său sistem de măsură; această descriere trebuie să coincidă cu cea făcută de oricare altul, în propriul său sistem de măsură.

Această concepție despre Univers contrastează deosebit de mult cu realismul — chiar cu materialismul — care se afirma, în 1917, în fundalul gândirii cosmologice a lui Einstein. Pe de o parte, ea este proprie lui Milne, al cărui idealism filozofic îl exprimă. Dar ea este în același timp atât de strâns legată de ideile esențiale ale cosmologiei deductive, încât pentru o astfel de cosmologie pare dificilă o adevărată revenire completă de la logica aparenței la cea a realității. Poziția autorilor T.S.S. o dovedește destul de bine: ei sînt departe de a împărtăși toate vederile filozofice ale lui Milne și, în anumite privințe, cercetarea lor marchează o reîntoarcere la problematica mai realistă a lui Einstein din *Kosmologische Betrachtungen*. Totuși ei formulează principiul cosmologic perfect sub formă de aparențe². Aceasta nu reprezintă din partea lor un simplu artificiu de stil, căci gândirea lor se înscrie destul de natural în logica aparenței: atunci cînd li se reproșează că renunță la principiul de conservare al masei-energiei, ei răspund uneori că aceasta depinde de modul de definire a conservării. Căci, dacă în teoria lor materia-energia nu se conservă *în sine*, ea se conservă totuși în sensul că există întotdeauna o aceeași cantitate în cîmpul de observație accesibil oricărui observator³.

¹ În legătură cu definirea „echivalenței” în teoria lui Milne, vezi mai departe, p. 142.

² H. BONDI, T. GOLD, *The Steady State...*, *mem. cit.*, p. 254: „...La scară mare Universul este omogen și staționar în *înfățișările sale* la fel ca și în *legile sale*.” „...Înlăturînd neregularitățile locale, Universul prezintă *același aspect* în orice loc și în orice timp” (H. BONDI, *Cosmology*, p. 12). În aceste două citate sublinierile ne aparțin.

³ Dealtfel chiar în acest mod previn ei obiecția, în memoriul lor inițial, *The Steady State...*, *mem. cit.*, §§ 2,5. Vezi Anexa, VI, p. 464.

Am fi deci tentați să vorbim de un *idealism* al noii cosmologii. Desigur că cuvântul se potrivește pînă la un anumit punct teoriei lui Milne, dar trebuie să subliniem mai întîi, că dacă teoria R.C. este idealistă, acest idealism diferă într-un punct esențial de filozofiile cele mai celebre astfel calificate, mai ales de aceea a lui Kant. Într-adevăr, Milne nu tratează lumea după aparențele ei pentru un *ego*, ci după aparențele ei pentru mai mulți *ego* fiecare reprezentînd, unul pentru celălalt, obiect observat și subiect căruia i se adresează semnale. După Milne, adevăratul sens al principiului relativității este că el oferă posibilitatea unei comunicări coerente între doi observatori în mișcare relativă și situați la distanță în spațiu; filozofia relativității se găsește deci la polul opus solipsismului¹, afirmă el în mod expres. Contribuția cea mai originală a lui Milne, nu numai în cosmologie, ci și în filozofie, este deci de a fi dat un fel de model matematic al acestei intersubiectivități neempirice, transcendente, pe care filozofia modernă a încercat de atîtea ori și în atîtea feluri să o descrie.

Pe de altă parte, dacă enunțarea cea mai directă a principiului cosmologic conferă în mod inevitabil un accent idealist noii cosmologii, aceasta are și un sens realist, în măsura în care acordă o anumită preponderență ontologică totalității cosmice asupra fenomenelor locale. Acest sens realist nu este în întregime absent din teoria R.C., pentru că Milne deduce în cosmologia sa, o dinamică și niște legi de determinare a forței, ceea ce înseamnă că acțiunea întregului asupra părților sale domină interacțiunea părților; dealtfel, lumea a fost creată, iar prin creație, Dumnezeu i-a comunicat acesteia ceva nu numai din gîndirea, ci și din ființa sa.

Dar motivul realist al noii cosmologii se afirmă cel mai net în T.S.S. și în diferitele sale continuări. Bondi și Gold atribuie principiului lui Mach o importanță de prim ordin și reiau într-o oarecare măsură problema inerției din punctul în care o lăsase Einstein în 1917: inerția nu poate fi o proprietate intrinsecă a corpului de probă local; faptul că rotația indicată de pendulul lui Foucault este identică cu cea a stelelor nu poate fi o coincidență inexplicabilă, ci manifestarea empirică a unei relații definite între Pămînt și ansamblul unor obiecte îndepărtate din Univers. La succesorii lui Bondi și Gold, adică la Hoyle ca și la Sciama, tema realistă, chiar materialistă, capătă o importanță și mai mare².

¹ „Relativitatea și solipsismul sînt incompatibile; relativitatea este negarea completă a solipsismului” (*Relativity, Gravitation...*, op. cit., § 6, p. 16).

² Vezi mai departe, pp. 228–233.

Cosmologia newtoniană: un manifest al noii școli.

Istoric vorbind, prima intervenție caracteristică a noii cosmologii este fără îndoială reabilitarea, în 1934, a cosmologiei newtoniene, de către Milne și McCrea. Demonstrând, la început pe un caz particular, echivalența exactă dintre un model newtonian de univers și un model relativist, Milne scotea în evidență într-un mod destul de izbitor faptul că două teorii locale diferite erau compatibile cu aceeași definire a structurii cosmice și că, în consecință, cosmologia modernă, în ciuda originii sale, nu trebuie considerată ca o simplă prelungire a R.G.

Problema cosmologiei newtoniene se pune de fapt de mult timp: incapacitatea teoriei lui Newton de a sprijini extrapolarea cosmologică era bine cunoscută încă dinainte de revoluția relativistă și ea păruse cu atât mai surprinzătoare cu cât teoria era mai puțin contestată la acea dată. Einstein remarcase în 1917¹, că o extrapolare cosmică pornind de la R.G. se lovea de o dificultate analoagă și că o aceeași modificare formală, adusă pe de o parte ecuației lui Poisson, pe de alta ecuațiilor lui Einstein, înlătura dificultatea și într-un caz și în celălalt. În teoria newtoniană, această modificare fusese deja propusă de către Seeliger și Neumann la sfârșitul secolului al XIX-lea și se poate spune că în cosmologie, Einstein, fidel metodei sale analogice, aplicase propriilor sale ecuații un procedeu împrumutat de la predecesorii săi newtonieni.

Pe de altă parte, Charlier demonstrase în 1908 și, într-un mod mai exact și mai detaliat în 1922, că paradoxul Universului infinit, care apare în cosmologia newtoniană și, simultan, paradoxul lui Olbers puteau fi eliminate, fără modificarea legii lui Newton, presupunând că Universul este format din suprapunerea unui număr infinit de sisteme, un sistem de ordinul n avînd drept elemente sisteme de ordinul $n-1$ (stele, galaxii, grupări de galaxii, grupări de grupări...). Paradoxul gravitațional este evitat dacă raportul dimensiunilor a două sisteme succesive și numărul de elemente conținute în cel mai mare dintre ele verifică o anumită inegalitate; *aceeași inegalitate* înlătură și paradoxul lui Olbers². Dar identifica-

¹ Vezi mai sus, pp. 32 ș.u.

² *Wie eine unendliche Welt...*, mem. cit., Arkiv för Mathematik Astronomi och Fysik, 4, 24, 1908. *How an Infinite World May Be Built Up*, *ibid.*, 16, 22, 1922.

Dacă sistemele sînt sferice, R_i , este raza sistemului de ordinul i , iar N_i este numărul de sisteme de ordinul $i-1$ pe care le conține, relația lui Charlier este: $\frac{R_i}{R_{i-1}} > \sqrt{N_i}$.

În privința paradoxului lui Olbers, vezi Anexa, p. 493.

rea Universului real cu un model al lui Charlier ridică și ridică încă două obiecții : *a.* Observația nu dă nici o indicație sigură în privința existenței unei structuri ierarhizate. *b.* Modelul este static și nu permite explicarea deplasării spre roșu. Charlier însuși lua încă din 1922 această a doua obiecție foarte în serios.

Totuși, în 1934 toate acestea păreau de mult uitate, mai ales de către însuși Einstein. Succesele și dezvoltarea teoriei relativității, descoperirea expansiunii cosmice, atît de contrară în aparență concepției newtoniene asupra mișcării, păreau să facă deosebit de inactuală problema posibilității existenței unui Univers newtonian. Totuși, acesta este momentul pe care l-a ales Milne, care tocmai își edifica propria teorie, pentru a relua din punctul în care o lăsase Einstein analogia dintre cosmologia newtoniană și cosmologia relativistă. Punîndu-și tot talentul în joc pentru a cîștiga ceea ce părea să fie o prinsoare, el demonstrează că se poate concepe fără nici o contradicție un Univers newtonian în expansiune. Mai mult, el dovedește că ceea ce făcea contradictorie cosmologia newtoniană nu era faptul că era newtoniană, ci faptul că era statică... În sfîrșit, el scoate în evidență echivalența riguroasă, pînă la forma ecuațiilor, dintre descrierea newtoniană și descrierea relativistă a unei aceleiași structuri cosmice.

Pentru această demonstrație, Milne alesese Universul cel mai actual, ultimul apărut dintre universurile relativiste, de asemenea cel mai simplu și, dacă se poate spune așa, cel mai elegant — modelul lui Einstein-de Sitter care îi pusese de acord în 1932 pe cei doi fondatori ai cosmologiei moderne¹. În acest model, fuseseră aplicate ecuațiile cîmpului cu $\Lambda = 0$, curbura spațiului era nulă, expansiunea începuse într-o stare singulară a Universului, la o distanță în trecut egală cu două treimi din inversul constantei lui Hubble (1,2 miliarde de ani după estimările din vremea aceea și 9 miliarde după estimările actuale). În acest model expansiunea era indefinită și se încetinea indefinit.

Pentru a regăsi în teoria newtoniană acest model de univers, Milne raționează astfel² : spațiul este euclidian și toți observatorii măsoară același timp ; Universul fizic este identificabil cu un roi omogen de particule, a căror mișcare este astfel încît traiectoriile lor nu se intersectează niciodată. Pentru orice observator mișcarea este izotropă. Din punct de vedere dinamic, particulele exercită una asupra alteia o forță de atracție în conformitate cu legea lui Newton. Particulele se mișcă astfel încît, în raport cu

¹ Vezi mai sus, p. 81 și Anexa, VI, C, p. 466.

² E. A. MILNE, *A Newtonian Expanding Univers*, Quarterly J. of Math. Oxford, 5, 1934, pp. 64—72.

orice sistem de referință, în repaus în raport cu una oarecare dintre ele, energia cinetică a oricărei particule echilibrează atracția la care ea este supusă.

Mai precis, considerînd un observator arbitrar O ca fiind fix, o particulă pe care acest observator o vede la distanța r este animată de o viteză radială a cărei mărime este parabolică, cu alte cuvinte care-i permite să scape exact de sub atracția masei sferice centrate în jurul lui O și de rază r . Cînd r variază, masa sferei rămîne constantă astfel că viteza particulei variază, rămînînd parabolică.

Mișcarea sistemului este deci în întregime definită de formula cea mai simplă și cea mai clasică, cea care, odată aleasă arbitrar o origine în repaus, egalează energia cinetică a oricărei particule a sistemului cu energia sa potențială. Structura cosmică este complet determinată adăugînd ecuația hidrodinamică de continuitate (datînd de la 1750, subliniază Milne cu o evidentă malițiozitate). Acest Univers admite principiul de relativitate newtonian și principiul cosmologic. Cinematica sa este în conformitate cu legea lui Hubble: în raport cu un observator oarecare, viteza de expansiune este proporțională cu distanța.

Introducînd o funcție universală $R(t)$ legată într-un mod foarte simplu de poziția oricărei particule în raport cu originea arbitrară, Milne arată că modelul său newtonian corespunde exact modelului relativist al lui Einstein-de Sitter: funcția $R(t)$ verifică ecuații identice cu ecuațiile lui Friedman aplicate acestei metrici; invers, pornind de la metrica relativistă, se regăsesc ecuațiile newtoniene. Demonstrația, pe acest caz particular, era prea convingătoare pentru ca Milne să nu fi fost tentat să o generalizeze căutînd echivalentul newtonian al tuturor modelelor relativiste conforme cu principiul cosmologic, a căror enumerare fusese încheiată cu cîțiva ani înainte. Or, pentru majoritatea acestor modele de univers, spațiul nu este euclidian; problema care se punea era deci de a găsi analogul newtonian al curburii spațiului. Milne și McCrea au atacat simultan această problemă și au ajuns în mod independent la rezultate perfect concordante, pe care le-au publicat împreună¹.

Așa cum prevăzuse Einstein, adăugarea în ecuația newtoniană a gravitației a unui termen proporțional cu distanța (coeficientul de proporționalitate fiind Λ) produce din punct de vedere cos-

¹ H. W. MCCREA, E. A. MILNE, *Newtonian Universes and the Curvature of Space* Quart. J. of Math., Oxford, 5, 1934, pp. 73–80. Despre cosmologia newtoniană, vezi Anexa, VIII.

mologie aceleași efecte ca adăugarea termenului analog în ecuațiile relativiste: din punct de vedere fizic, acesta este echivalentul unei „repulsii cosmice”, care, la distanțe foarte mari, depășește atracția.

În cosmologia newtoniană, echivalentul curburii spațiale este energia mecanică a particulelor în raport cu originea care, în conformitate cu principiul cosmologic, este totdeauna arbitrară. În cazul modelului Einstein-de Sitter, curbura este nulă — adică spațiul este euclidian — energia totală a sistemului este de asemenea nulă, în orice sistem de referință. Ceea ce în cosmologia relativistă se numește „curbură a spațiului”, în cosmologia newtoniană se numește deci „energie”. Modelele relativiste închise sînt în teoria newtoniană sisteme în care particulele au viteze prea mici pentru a putea scăpa din sistem; în modelele hiperbolice, viteza particulelor este mai mare decît viteza parabolică. Lista universurilor newtoniene este în cele din urmă identică cu lista modelelor relativiste — cu excepția totuși a modelului lui de Sitter, care nu poate avea analog newtonian, pentru că este vid.

Ne putem desigur îndoi de importanța intrinsecă a demonstrației lui Milne și McCrea. Evident ea nu aducea nimic nou în discuția asupra valorii fizice a teoriei newtoniene față de teoria R.G.: nu din motive cosmologice dorise Einstein să o construiască pe cea de-a doua, iar echivalența sub acest raport a celor două teorii nu schimba nici unul din motivele teoretice sau experimentale care ar exista pentru a-l urma pe Einstein. În ceea ce privește cosmologia, ea nu avansa astfel prea mult; interpretarea newtoniană permitea cel mult să se regăsească rezultatele relativiste fără a trece dincolo de ele, în special în ceea ce privește determinarea modelului cel mai bine adaptat pentru reprezentarea lumii reale. Pe de altă parte, analogia, oricît de spectaculoasă, rămînea în parte artificială. Ea nu are valoare decît dacă se neglijează, în „fluidul” cosmic, presiunea, ceea ce este o simplificare rezonabilă dacă se remarcă faptul că, empiric, această presiune este foarte mică în raport cu densitatea. Dar poate că ea nu a fost întotdeauna astfel și, în orice caz, paralelismul teoretic este denaturat din această cauză. Desigur, analogia nu este lipsită de interes din punct de vedere fizic, așa cum notează Bondi: ea dovedește mai întîi că, în aplicațiile cosmologice, diferența dintre teoria relativistă și teoria newtoniană este determinată de raportul dintre presiune și densitate — și nu ca în aplicațiile locale, de raportul dintre potențialul gravitațional și masa de repaus¹;

¹ H. BONDI, *Cosmology*, op. cit., p. 104.

pe de altă parte, arătând că teoria newtoniană, care este o excelentă aproximație la scară locală, este la fel și la scară cosmică, demonstrația lui Milne confirmă că această teorie se poate aplica cu deplină siguranță la probleme de scară intermediară, spre exemplu la formarea galaxiilor, evitându-se astfel formulele relativiste mai greoaie și mai puțin clare¹.

Descoperirea analogiei între universurile relativiste și universurile newtoniene are însă mai ales un interes istoric și epistemologic: pentru Milne ea avea valoarea unui manifest. Treizeci de ani mai târziu, ea a permis să se traseze mai bine itinerarul intelectual al celei de-a doua generații cosmologice și să se precizeze deosebirile și opozițiile dintre noua cosmologie și cosmologia relativistă.

Încă din primele rînduri ale articolului lui Milne, se vede conturîndu-se idealismul său: „Expansiunea Universului”, spune el, nu are conținut fizic; această expresie indică pur și simplu alegerea unui aparat matematic particular pentru descrierea fenomenelor; alternativa, care constă în considerarea spațiului drept static și a expansiunii drept o mișcare reală în spațiu, nu este aprioric nici mai bună, nici mai proastă: „În fiecare caz, spațiul este o construcție realizată de matematician pornind de la observațiile care ar putea fi făcute în principiu“. Pentru Milne, demonstrația lui are deci un sens epistemologic: o structură „reală” a spațiului nu există. Motivele hotărîtoare pentru a alege o anumită structură trebuie să fie acelea care permit să se facă din lumea văzută din interior un sistem de aparențe bine fundamentate.

Dar ceea ce frapază în mod deosebit este accentul polemic al lui Milne față de R.G.; se simte deja o voință de ruptură care în continuare se va întări din ce în ce mai mult. A spune că Universul în expansiune este o consecință a teoriei relativității este greșit. Milne adaugă că toate fenomenele de importanță cosmică observabile la ora actuală „ar fi putut să fie prezise de către fondatorii hidrodinamicii secolului al XVIII-lea, poate chiar de către Newton”. Astfel ruptura cu R.G. se petrece într-un sens dublu: ea reprezintă desigur primul act al unei acțiuni de renovare a cosmologiei, care va trebui separată de orice teorie fizică locală și construită pe principii autonome. Dar ea are în același timp sensul unei reîntoarceri la sursele clasice, ca și cum Milne ar fi dorit să șteargă o întreagă evoluție spirituală spre materialismul scientist, printre rezultatele căruia poate fi considerată în anumite privințe și teoria R.G. —

¹ H. BONDİ, *op. cit.*, pp. 89 și 105.

și să reaseze cosmologia în cadrul *Weltanschauung*-ului lui Leibniz și al lui Newton, în care natura apărea în lumina unui Dumnezeu rațional.

Aceste motive de restaurare a cosmologiei newtoniene sînt desigur caracteristice pentru Milne, dar la ceilalți susținători ai metodei deductive în cosmologie nostalgia științei clasice este mai puțin evidentă. Este adevărat totuși că Bondi, de exemplu, așează cosmologia newtoniană pe primul loc în enumerarea teoriilor, deși, cu toate că au existat precursori, ea este în fapt mai ales opera unor autori contemporani sau creatori ai cosmologiei relativiste: Milne, McCrea, Heckmann.

Bondi, spre deosebire de Milne, deși scrie cu peste douăzeci de ani mai tîrziu, nu manifestă nici o intenție polemică față de R.G., iar discuția sa asupra cosmologiei newtoniene face să iasă mai bine în relief interesul confruntării cu cosmologia relativistă. Această confruntare permite să se vadă punctul în care cosmologia deductivă înțelege să continue, și nu să reformeze, munca relativistilor „ortodoxi”. Acesta este chiar punctul în care cosmologia newtoniană își dezvăluie slăbiciunea și face să apară, prin contrast, superioritatea viziunii relativiste asupra lumii.

Ireproșabilă atunci cînd considerăm Universul „în linie dreaptă”, metoda newtoniană, spune Bondi, își dovedește „slăbiciunea intrinsecă” atunci cînd se pune problema de a afla cum îi *apare* Universul unui observator situat *înăuntrul* său și care ia parte la mișcarea sa, adică nouă înșine. Într-adevăr, toate observațiile noastre rezultă din examinarea luminii care ne vine de la obiecte îndepărtate. De aceea este indispensabil să luăm în considerație modul de propagare a luminii în Univers. Dar în privința acestui punct, cosmologia newtoniană cere ipoteze suplimentare și „nu se pot obține rezultate rezonabile decît servindu-ne de concepte și metode post-newtoniene”¹. Invers, și această consecință este evidentă, deși în discuția lui Bondi ea rămîne implicită, cosmologia relativistă încorporează direct problema propagării luminii în cea a structurii geometrice și dinamice a Universului; observatorul și semnalele pe care acesta le primește fac parte integrantă din această structură. Din punctul de vedere al noii cosmologii, aceasta este caracteristica cea mai satisfăcătoare a cosmologiei relativiste, deși aceasta nu admite aprioric posibilitatea de a aplica ecuațiile cîmpului din teoria R.G. la ansamblul Universului. Astfel, Milne ia drept punct de plecare teoria relativității restrînse, respingînd

¹ H. BONDI, *op. cit.*, p. 86.



teoria einsteiniană a gravitației și toate teoriile deductive care presupun într-un mod sau altul postulatul relativist după care, în orice formă metrică spațio-temporală capabilă să reprezinte Universul, traiectoriile fotonilor trebuie să fie geodezice ale spațiu-timp-ului de-a lungul cărora orice interval este nul. Astfel, confruntarea cu teoria newtoniană face să apară net ceea ce vrea să păstreze cosmologia nouă din cosmologia relativistă — asocierea intimă dintre metrica cosmică și legile de propagare a luminii — și ceea ce nu primește decât cu indiferență sau cu neîncredere: aplicarea ecuațiilor lui Einstein la materia cosmică.



Capitolul V

COSMOLOGIA DEDUCTIVĂ : RELATIVITATEA CINEMATICALĂ

A. Teoria relativității cinematice

Dintre teoriile noii cosmologii, cea care ne va reține atenția cel mai mult este *relativitatea cinematică*, fondată și dezvoltată între 1932 și 1950 de către Milne, Whitrow și Walker. Acest privilegiu cere o anumită justificare, dat fiind faptul că el pare disproporționat cu importanța reală pe care mulți dintre savanți ar fi dispuși să o atribuie acestei teorii; dar, după criteriile noastre, care nu corespund exact cu cele ale științei pozitive, există mai multe motive care ne determină să tratăm teoria R. C. într-un mod privilegiat.

Mai întâi, aceasta este prima dintre teoriile de acest fel, prima tentativă de a degaja gândirea cosmologică de teoria R.G., prima încercare din epoca contemporană de a aplica sistematic metoda deductivă în cosmologie¹. Principalului autor al acestei teorii i se datorează expresia de „principiu cosmologic” și sensul acesteia. Personalitatea excepțională a lui Milne a dat, pe de altă parte, operei sale și polemicilor care l-au înconjurat un accent unic. Gînditor extrem de original și de viguros (talentul strălucește chiar și în cel mai redus dintre memoriile sale, la fel ca și în cea mai scurtă notă a lui Eddington), dar intransigent, dintr-o bucată, angajat cu pasiune într-o acțiune căreia îi dădea atît un sens metafizic, cît și unul științific, Milne știa că merge aproape singur pe drumul său într-o lume intelectuală a cărei neîncredere, ba chiar ostilitate, nu o ignora. El se voia „eretic” și făcea puțin caz de știința timpului său, însă nu se pleca în fața nici unei sfidări; există desigur puține exemple în care o știință atît de austeră să fi fost trăită ca o asemenea aventură.

Milne reușise să comunice cîte ceva din pasiunea și din intransigența sa celor mai apropiați colaboratori, așa cum o dovedește pasajul în care Walker vorbește cu ironie despre acei cosmologi

¹ *Relativity, Gravitation and World-Structure* a precedat cu un an apariția cărții *Relativity Theory of Protons and Electrons* a lui Eddington.

relativişti care aşteaptă ca observaţia să binevoiască să facă o alegere — de care ei se recunosc incapabili — între diferitele modele de univers; Milne şi el, avînd o idee mai elevată despre puterea raţiunii, „sînt destul de îndrăzneţi pentru a propune un singur model şi pentru a-l susţine sau a cădea odată cu el”¹.

În sfîrşit, ni se pare că Milne şi colaboratorii săi, chiar dacă nu au adus secolului o imagine întru totul convingătoare asupra Universului, au explorat totuşi idei atît de profunde şi au aruncat o lumină atît de nouă asupra conceptului de univers, încît opera lor merită cea mai atentă examinare din partea filozofilor.

Totuşi, prezentarea teoriei relativităţii cinematice în cadrul lucrării de faţă se loveşte de unele dificultăţi speciale care ţin în acelaşi timp de natura sa şi de condiţiile dezvoltării sale. Ea este foarte bogată în idei şi, în acelaşi timp, foarte elaborată din punct de vedere matematic şi, în această privinţă, încărcată de complicaţii inutile, aceasta fiind cel puţin părerea unor experţi de indiscutabilă competenţă, ca Robertson. Pe de altă parte, în timpul celor optsprezece ani care i-au fost consacraţi de către Milne, ea nu a încetat să se transforme şi să se îmbogăţească, nu numai prin simpla adăugare de noi rezultate, ci cam în felul în care se transformă stilul unui compozitor sau metoda unui filozof.

Ambiţia lui Milne nu a avut niciodată limite fixe; ea s-a amplificat constant, pe măsură ce munca teoretică avansa şi gîndirea filozofică se maturiza; nimic nu era dealtfel mai străin concepţiei pe care Milne o avea despre ştiinţă decît ideea de a aduce o „contribuţie limitată”. Căutarea unei soluţii a problemei cosmologice care să explice clar expansiunea galaxiilor evitînd defectele cosmologiei relativiste a devenit prilejul unei remodelări a tuturor conceptelor de fizică teoretică: spaţiul, timpul, mişcarea, materia, Universul. În sfîrşit, răsturnînd ordinea „ortodoxă”, Milne a trecut la reconstruirea dinamicii, a electromagnetismului, apoi la deducerea unei teorii gravitaţionale.

Pe de altă parte, opera sa este construită într-un astfel de spirit încît este dificil de comparat structura sa logică şi rezultatele sale cu cele ale altor teorii; totuşi, anumite întîlniri sau apropieri, căutate sau suportate de Milne — care uneori le ascundea atunci cînd îl deranjau în preferinţele sale — sînt importante şi va trebui să le punem în evidenţă.

Cu toate aceste diverse dificultăţi, ne propunem să prezentăm ansamblul teoriei, insistînd însă îndeosebi asupra fundamentelor

¹ *Kinematic Relativity — A Discussion*, Observatory, 64, 1941, p. 23.

filozofice, metodologiei și dezvoltărilor sale tipic cosmologice. Principala lucrare la care ne vom referi va fi *Kinematic Relativity*, publicată în 1948, ultima expunere completă a teoriei. Vom face însă referiri importante și la *Relativity, Gravitation and World Structure* (1935) și la *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, text redactat după lecțiile pe care moartea, survenită în cursul verii anului 1950, l-a împiedicat pe Milne să le mai țină la Universitatea din Birmingham¹.

Acum, cînd ne aflăm încă în punctul de plecare, să adunăm cîteva postulate generale, formate de timpuriu în gîndirea lui Milne, și cîteva negații, care acționează fără încetare în metoda sa și pe care este bine să le avem prezente în minte dacă vrem să-l însoțim pe Milne în uimitoarea sa călătorie. Principalul său postulat metodologic este că lumea este un sistem de aparențe — în mod esențial aparențe măsurabile — și tot ceea ce depășește aparențele imediat perceptibile cu aparate adecvate, ca și măsurătorile practicabile efectiv, reprezintă o construcție intelectuală în care intră o parte de convenție.

Pe de altă parte, Milne vede lumea mai curînd ca astronom decît ca fizician; el o consideră mai mult ca un spectacol decît ca un domeniu de intervenție activă și spune destul de clar că nu poate exista o fizică cu calități *tactile*. De aici cîteva negații ferme: el contestă *spațiului fizic* orice valoare de realitate; nu admite faptul că măsura de bază ar fi cea a intervalului spațial, ceea ce are drept consecință punerea în discuție a principiilor celor mai tradiționale ale metrologiei de la originea lor². Căci rigla rigidă nu mai este pentru Milne ceea ce este ea în mod tradițional — deși acum își pierde încetul cu încetul acest privilegiu — o dată metrologică primară; la drept vorbind, în teoria sa științifică nici nu mai există, vreo măsură a *lungimii*, ci numai una a *distanței*. Ca și cum observatorul, fiind lipsit de orice volum, nu ar putea să țină în același timp cele două capete ale metrului: „Să considerăm un observator care ține o riglă gradată; dacă fixează la extremitatea cea mai apropiată de el a riglei coordonată distanță *zero*, iar coordonată distanță *unu* la extremitatea îndepărtată de el, atunci lungimea riglei va fi tocmai *unu*³...” Însă practic,

¹ E. A. MILNE, *Relativity, Gravitation and World Structure*, Oxford, 1935., *Kinematic Relativity*, Oxford, 1948., *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, Edward Cadbury Lectures at the University of Birmingham for 1950, Oxford, 1952.

² *Relativity, Gravitation, ..., op. cit.*, § 4, p. 14.

³ *Modern Cosmology, ..., op. cit.*, p. 46. Eddington, mai clasic în această privință și care dădea un sens cosmic definit unității de lungime, a criticat ocazional dar ferm poziția lui Milne (*Philosophy of Physical Science*, Cambridge, 1939, pp. 72—73).

măsurarea se face la fel, indiferent de direcție, de la dreapta la stînga sau de sus în jos și pînă la Gauss sau Riemann toată geometria s-a bazat pe acest lucru...

În plus, Milne separă foarte net — și într-adevăr în mod ontologic — noțiunea de spațiu de cea de timp¹, acestea urmînd să joace roluri diferite în reprezentarea fizico-matematică a Universului. Într-adevăr, în legătură cu timpul experiența este imediată; poate chiar că aceasta este singura cunoaștere directă care să nu fie cea a unei aparențe; în orice caz, „trecerea timpului este un constituent de netăgăduit al experienței noastre”², în timp ce spațiul este o simplă construcție, cu toate că faptul că el are trei dimensiuni este totuși acceptat de Milne ca o dată empirică. Rezultă că conceptul relativist de *spațiu-timp* trebuie înlăturat, cu toate comoditățile matematice pe care acesta le poate oferi: reprezentarea spațio-temporală asociază într-o aceeași geometrie elemente eterogene: măsurile de timp care sînt date și măsurile de spațiu care sînt construite. Aici se află, după Milne, sursa paradoxurilor relativiste³, de care teoria sa este scutită.

În sfîrșit, interpretarea curentă a principiului relativității tinde, după Milne, să-i limiteze semnificația și să-i deformeze sensul, restrîngînd de fapt semnificația covarianței la schimbări de coordonate într-un punct, pe cînd ceea ce este interesant sînt schimbările de reper de la un observator la altul. Adevăratul sens al principiului relativității este contrazicerea solipsismului și depășirea punctului de vedere al observatorului unic, care își poate alege într-o infinitate de moduri procedeele de reperare a lumii fizice, fără a putea să iasă totuși dintr-un sistem de aparențe.

Acesta este motivul pentru care Milne se străduiește să creeze conceptul de observator, deosebind ceea ce observă el efectiv, timpul, unghiuri, semnalele pe care le primește, de ceea ce construiește plecînd de la observațiile sale — scopul acestei construcții fiind acordul între propriile sale măsurători și cele ale altor observatori⁴.

În felul acesta se schițează trăsăturile principale ale divergenței dintre cosmologia relativistă și cosmologia cinematică: în timp ce prima este inductivă, cea de-a doua se construiește aprioric; metrologia relativistă este cea a riglei și a ceasului, în timp

¹ *Relativity, Gravitation...*, op. cit., § 5, p. 14.

² *Ibid.*, § 6, p. 16.

³ În această privință, Milne se apropie deci de Bergson. Dar concepția sa despre măsurarea timpului este în realitate diferită de cea care se întîlnește în *Durée et Simultanéité*. Vezi mai jos, p. 183.

⁴ *Relativity, Gravitation...*, § 6, p. 16; § 376, p. 272.

ce Milne se lipsește de riglă și vrea să definească toate mărimile fizice măsurabile cu ajutorul ceasului și al teodolitului; pentru cosmologia relativistă, Universul *este* o varietate cvadridimensională structurată de o metrică riemanniană; pentru Milne, Universul nu este decît un sistem de aparențe observabile dintr-o infinitate de puncte de vedere; pe cînd trecerea timpului este pentru fiecare observator o dată imediată, spațiul metric nu este decît o construcție intelectuală destinată să asigure o comunicare reglementată între observatori.

I. Măsurarea timpului și conceptul de „echivalență”

Deci, la baza teoriei se găsește conceptul de *observator*: acest observator este un *ego*, căruia la început nu îi este atribuită în mod explicit decît conștiința „trecerii timpului”, în sensul — spune Milne — în care Whitehead vorbește de „trecerea naturii”, adică în sensul că timpul nu este nimic altceva decît această „trecere”. Între două evenimente pe care, prin abstracție, le putem presupune punctuale (Milne se referă aici în mod explicit la analizele lui Whitehead¹), oricare ar fi aceste evenimente, *ego*-ul stabilește o relație fie de simultaneitate, fie de tip „înainte-după”. Aceste evenimente se prezintă pentru *ego* ca un ansamblu continuu și ordonat de puncte. *Ego*-ul poate stabili deci în mod arbitrar o corespondență biunivocă și punctuală între mulțimea numerelor reale și mulțimea evenimentelor nesimultane de care ia cunoștință. Cu condiția ca ordinea înainte-după dintre două evenimente oarecare să corespundă întotdeauna ordinei mai mic-mai mare dintre numerele asociate, această corespondență va fi, prin definiție, „un ceas etalonat arbitrar”. Acest arbitrar semnifică faptul că conceptul de „timp uniform” nu poate fi determinat în raport cu un observator unic.

Acestea fiind stabilite, să presupunem doi observatori *A* și *B*, avînd fiecare cîte un ceas, în sensul de care am vorbit, și, în plus, fiind capabili să citească unul pe ceasul celuilalt. Cum trebuie să fie limitat, cel puțin pentru unul dintre ei, acest arbitrar al alegerii, astfel încît să se poată spune, într-un sens definit, că și unul și celălalt citesc pe ceasurile lor respective „același” timp, sau, mai bine zis, că ceasurile lor sînt „congruente”? Aceasta este „prima

¹ Vezi în special A. N. WHITEHEAD, *The Concept of Nature*, Cambridge U.P., 1920, cap. III.

problemă a măsurării timpului¹. Milne o rezolvă în felul următor : dacă B citește simultan pe propriul său ceas timpul t'_2 și pe cel al lui A , t_1 , și dacă după mai multe citiri stabilește funcția

$$t'_2 = \theta(t_1),$$

dacă, pe de altă parte, A stabilește în aceleași condiții funcția

$$t_3 = \varphi(t'_2),$$

atunci, prin definiție, cele două ceasuri vor fi congruente dacă

$$\theta = \varphi$$

(Anexa, IX, ec. 98).

Ceasurile fiind etalonate arbitrar la pornire, poate B întotdeauna să-l reetaloneze pe al său în așa fel încît să-l facă congruent cu cel al lui A ? Milne demonstrează că este întotdeauna posibil să se construiască o funcție de reetalonare care să rezolve problema și să îndeplinească condiția cerută de a fi monotonă și crescătoare, astfel încît să conserve relația înainte-după dintre două evenimente oarecare.

Raționamentele precedente presupun posibilitatea „citirii” reciproce a ceasurilor, adică o anumită formă de acțiune reciprocă a observatorilor unul asupra celuilalt. Ele presupun trimiterea, de exemplu de către A , a unui semnal care luminează ceasul lui B . Timpul care intră în funcțiile precedente, să spunem în prima, poate fi deci considerat ca desemnînd momentele de recepție și de emisie (primul citit pe ceasul receptorului, iar al doilea pe ceasul emițătorului) a semnalelor luminoase pe care le-ar trimite și le-ar primi cei doi observatori.

Milne insistă însă asupra faptului că el nu presupune nici o proprietate anume a luminii, în afară de faptul că aceasta ascultă de o „axiomă elementară de cauzalitate” : cauza precede efectul, adică momentul t_2 (citit pe ceasul lui A) în care A vede ceasul lui B este posterior momentului t_1 (citit pe ceasul lui A) în care A și-a trimis *flash*-ul său. Pe scurt, aceasta este cea mai mică concesie pe care Milne o putea face materialității interacției dintre cei doi *ego*. Funcțiile definite mai sus pot fi denumite „funcții-semnal”.

¹ *Kinematic Relativity, op. cit.*, § 9, p. 16.

Milne ajunge apoi la problema celor trei observatori, adică de fapt a infinității observatorilor identificabili cu punctele unei drepte; acești observatori sînt presupuși coliniari, în mod permanent în tot decursul timpului. Aceasta reprezintă „cea de-a doua problemă a măsurării timpului”. Soluția ei determină întreaga teorie; ea se bazează pe teoria grupurilor continue și rezultă din colaborarea lui Milne cu Whitrow. Cum ea este vastă și destul de complicată ne vom mărgini să indicăm principalele ei etape, să punem în evidență articulațiile raționamentului și să specificăm rezultatele¹.

Datele problemei sînt următoarele: dacă ceasul observatorului A este congruent cu cel al lui B și cu cel al lui C (și, mai general, cu cele ale lui D, E, F, \dots), care sînt condițiile suplimentare care trebuie îndeplinite pentru ca ceasul lui B să fie de asemenea congruent cu cel al lui C (și al lui D, E, F, \dots)? Mai intuitiv, aceasta revine la întrebarea: dacă A și B s-au pus de acord asupra definirii mișcării lor relative, care sînt restricțiile care trebuie impuse mișcării relative a lui A și C pentru ca acordul lui A și C asupra definirii acestei de-a doua mișcări să antreneze în mod necesar acordul lui B și C asupra definirii mișcării lor relative? Dar aceasta este o imagine în care nu trebuie să avem încredere, pentru că definirea matematică a mișcării nu poate interveni decît mai tîrziu, atunci cînd rezolvarea problemei în discuție va permite definirea *distanței* dintre doi observatori și a *timpului-coordonat*, adică a epocii atribuite de către un observator unui eveniment îndepărtat; or, în spiritul teoriei, aceasta nu este posibil înainte ca ceasurile observatorilor să fi fost etalonate convenabil.

Milne găsește că *funcțiile-semnal* care pun ceasurile în legătură două cîte două trebuie să satisfacă o relație de comutare (Anexa, IX, ec. 99); așa cum a arătat Whitrow prin aplicarea teoriei grupurilor, această relație este suficientă pentru a determina, *pînă la o funcție arbitrară*, *funcțiile-semnal* pentru orice mulțime de observatori A , care îndeplinesc condițiile problemei (Anexa, IX, ec. 100). O astfel de mulțime de observatori formează o „echivalență liniară”; de aici rezultă „teorema fundamentală” a teoriei. Cu tot arbitrarul în alegerea „funcției generatoare” a echivalenței, în realitate nu există decît o singură echivalență. Căci, dacă două echivalențe corespund la două funcții generatoare distincte, φ și ψ , se poate demonstra că este întotdeauna posibil, pentru membrii uneia dintre echivalențe, de exemplu φ , să-și reetaloneze ceasurile astfel încît echivalența φ să devină identică cu echiva-

¹ *Kinematic Relativity*, op. cit., § § 11–17, pp. 18–26.

lența ϕ . Rezultat evident capital: el arată că condițiile de congruență între ceasuri extinse la mai mult de doi observatori sînt suficiente pentru a fundamenta realitatea obiectivă a structurii numerice caracteristice a unei multitudini de observatori puși de acord. Rămîne posibilă o infinitate de descrieri metrice ale unei astfel de multitudini, dar întotdeauna se poate trece, printr-o transformare definită, de la una dintre aceste descrieri la alta.

Totuși, trebuie să reamintim că nu este încă vorba decît de observatori coliniari și că Milne introduce totdeauna *coordonatele temporale și spațiale*¹ în cadrul acestei ipoteze; definire indispensabilă, pentru că singurele operații metrice cunoscute pînă acum, cele necesare pentru definirea echivalenței, sînt următoarele: 1) reperarea, de către fiecare observator, pe propriul său ceas, a momentelor corespunzătoare evenimentelor de care are cunoștință în punctul în care se găsește; citirea simultană, de către fiecare observator, a unui număr înscris pe ceasul său și a unui număr înscris pe ceasul altui observator. Dar cadrul metric astfel definit nu îi este în sine suficient unui observator, pentru a situa un eveniment care nu se produce în punctul în care se găsește acesta. Spre exemplu, atunci cînd B citește pe ceasul său valoarea t_2 , notează timpul în care semnalul luminos lansat de A a ajuns la el; simultan, el citește t_1 pe ceasul lui A , ceea ce îi indică momentul pe care A îl atribuie emiterii semnalului. Dar aceasta nu îi ajunge nici pentru a-i atribui lui A o distanță în raport cu el însuși, nici pentru a atribui, în propriul său sistem de reperare a timpului, o epocă emiterii semnalului de către A . Pentru ca B să poată atribui, în propriul său cadru metric, coordonate punctului-eveniment („emiterea semnalului în A ”) sau, mai general, pentru ca un observator să poată atribui coordonate unui punct-eveniment situat la distanță față de el, este necesară o convenție suplimentară. Dar ar fi fost zadarnic să definim sistemul de coordonate al unui observator individual înainte de a ne asigura de posibilitatea de a transforma aceste coordonate în cele ale unui alt sistem, ceea ce implică tocmai definirea *echivalenței*.

Convenția adoptată de Milne, rămînînd în cadrul echivalenței liniare, este cea mai simplă din cîte se pot concepe; dealtfel, ea corespunde procedului empiric — a cărui folosire se extinde astfel într-o oarecare măsură, deși rămîne limitată — de măsurare a distanțelor prin emiterea unui semnal care se reflectă pe obiectul a cărui distanță căutăm s-o determinăm (metoda „radar”).

¹ *Kinematic Relativity*, op. cit., §§ 18—23, pp. 25—30.

Dacă A trimite în momentul t_1 un semnal către B , iar acest semnal revine în A în momentul t_3 , coordonatele punctului-eveniment („reflexia semnalului în B ”) măsurate de către A vor fi, prin definiție,

$$- \text{momentul său : } t = \frac{1}{2} (t_3 + t_1),$$

$$- \text{distanța sa : } r = \frac{1}{2} c(t_3 - t_1) \quad (\text{Anexa, IX, ec. 101}).$$

Alegerea constantei este arbitrară; este suficient să convenim că toți observatorii aleg același număr c pentru a obține o axiomă corespunzătoare cu ceea ce în fizica tradițională este constatarea empirică sau semiempirică a faptului că viteza luminii este constantă în vid.

Pornind de aici, se obțin cele două funcții prin care se exprimă observațiile fundamentale pe care A le face în privința lui B : funcția „moment-distanță”, care dă, măsurată de către A , distanța lui B funcție de timpul-coordonată al lui A , și funcția „mersul ceasurilor” (*clock-running*) care dă relația, evaluată de către A , dintre timpul-coordonată al lui B și timpul-coordonată al lui A^* .

Apare astfel clar rolul privilegiat acordat de către Milne măsurătorilor de timp. Imediate și directe sînt numai citirile pe ceas, ca t sau t' ; nu există citiri corespunzătoare pentru metri. Numai plecînd de la aceste măsurători imediate se pot construi mărimile coordonate de distanță și de timp. Vedem, pe de altă parte, că mărimea spațială definită nu este *lungimea*, ci într-adevăr *distanța*.

Funcțiile *moment-distanță* și *mersul ceasurilor* pot fi construite pornind de la *funcțiile-semnal* care coordonează, de la un observator la altul, măsurătorile imediate ale timpului. Aceste *funcții-semnal* sînt de asemenea suficiente pentru a determina formulele pentru transformările de coordonate de la un observator la altul în cadrul echivalenței liniare.

Odată pus la punct acest aparat metric, Milne poate da exemple de echivalență specificînd funcția generatoare ψ . Cea mai simplă alegere este evident $\psi(t) \equiv t$. Din aceasta se deduce că transformarea coordonatelor trebuie să ia forma transformării Lorentz și că compunerea vitezelor se face în conformitate cu formula lui Einstein. Acest rezultat este foarte important pentru Milne: el dovedește că axiomele teoriei sale permit să se reconstruiască aprioric cinematica relativistă.

* Anexa, IX, ec. (102, 103).

În scara timpului determinată de alegerea $\psi(t) = t$ — scară pe care în cursul teoriei Milne o va numi de obicei scara t — există o origine naturală a timpului: membrii echivalenței liniare sînt strînși, în vecinătatea momentului $t = 0$, într-un interval arbitrar de mic, apoi se îndepărtează unii de alții cu viteze relative constante; mai mult, în scara t coordonatele se transformă de la un observator la altul după formulele lui Lorentz și nu poate exista simultaneitate absolută.

Într-o altă descriere a echivalenței, în care funcția generatoare ia o formă logaritmică (Anexa, IX, ec. 107), membrii echivalenței sînt, dimpotrivă, în repaus relativ; timpul nu mai are o origine naturală și se întinde de la minus la plus infinit; simultaneitatea absolută își recapătă sensul; timpul este cel „comun”. Aceasta este ceea ce Milne numește de obicei scara τ . Or, conform teoremei fundamentale, nu există în realitate decît o singură echivalență, iar cele două scări metrice, (precum și infinitatea de alte scări care ar putea fi concepute) nu sînt decît două moduri de a descrie una și aceeași „entitate cinematică”.

După generalizarea la trei dimensiuni și identificarea Universului cosmologiei cu o echivalență, vom examina consecințele importante pe care Milne le trage din această posibilitate de a ordona evenimentele din Univers după două scări ale timpului. Această dublă scară este una din cele mai frapante și mai noi caracteristici ale cosmologiei cinematice. Aceasta este totuși o descoperire relativ tîrzie în cadrul acestei teorii. Ea nu apare în prima carte a lui Milne, ci puțin mai tîrziu, în lucrările de reconstruire deductivă a dinamicii. Urmărindu-se racordarea noii dinamici cu dinamica clasică, a apărut clar faptul că scara t , care este adecvată interpretării expansiunii cosmice și formulării legilor electromagnetismului, era cu totul improprie pentru a asigura reușita acestei racordări. Dimpotrivă, explicitarea scării τ dădea cheia acestei reușite¹.

II. Echivalența tridimensională și substratum-ul

Cu toate că *ideea* de echivalență se poate generaliza fără dificultate de la una la trei dimensiuni ale spațiului, procedeul matematic este în realitate dificil și lui Milne nu i-a reușit pe deplin. Nu este vorba de faptul că definiția echivalenței tridimensionale la care el ajunge pînă la urmă ar fi lipsită de claritate, sau că nu

¹ *Kinematic Relativity*, op. cit., p. 8.

s-ar acorda bine cu principiile sale. Dimpotrivă, ea este deosebit de simplă, dar, în afară de faptul că deducția este foarte laborioasă, lipsindu-i poate mijloacele matematice adecvate, generalitatea rezultatelor sale este limitată de ipoteze care rămân pe jumătate implicite și care nu sînt deci perfect justificate. Acesta este un lucru important nu numai din punctul de vedere al „esteticii” teoriei, ci și, așa cum vom vedea, pentru ansamblul gîndirii cosmologice.

Totuși trecerea este viabilă, poate fi îndeplinită fără riscuri cu mijloace formale convenabile și duce la rezultate bine determinate. Acest fapt rezultă din cercetările lui Robertson și Walker. Acești doi autori au abordat problema în același timp, pe căi sensibile diferite și independent unul de celălalt. Concluziile lor concordă întru totul¹. Această convergență este cu atît mai remarcabilă cu cît Walker, spre deosebire de Robertson, era un partizan fervent al teoriei lui Milne. Din această operă matematică delicată vom reține pentru moment trei idei necesare pentru a clarifica progresele lui Milne.

1. Pentru clarificarea problemei este necesară și suficientă o folosire sistematică a teoriei grupurilor.

2. Aplicarea axiomelor milneene duce la structurarea spațiului și timpului (fie că Milne o vrea sau nu...) printr-o metrică identică în formă și generalitatea sa cu aceea care definește universurile relativiste în ipotezele de omogeneitate și de izotropie¹. Sensul fizic al formulelor nu este același în relativitatea cinematică (unde ele nu definesc decît „echivalența” observatorilor) și în R.G. (unde ele exprimă existența unor forțe universale de gravitație și eventual de „repulsie cosmică”). Identitatea expresiilor geometrice este totuși un rezultat frapant și imprevizibil, al cărui interes depășește discutarea teoriei lui Milne și asupra căruia, din acest motiv, va trebui să revenim².

3. Soluția aleasă de Milne nu definește decît unul din cazurile posibile ale echivalenței tridimensionale, cel care corespunde, în metrica relativistă, cazului $R(t) = t$. Acesta este cazul cel mai simplu, în sensul că i se poate aplica transformarea Lorentz și conservă de la un observator fundamental la altul măsurătorile făcute de fiecare dintre ei³. Acești observatori sînt în mișcare

¹ H. P. ROBERTSON, *Kinematics and World-Structure*, Astrophysical J., 82, 1935, pp. 284—301; 83, 1936, pp. 187—201 și 257—271.

A.G. WALKER, *On Milne's Theory of World-Structure*, Proceedings of the London Math. Soc., seria a II-a, 42, 1936, pp. 90—127.

² Vezi Anexa, IV, ec. 41. Despre analiza lui Robertson, vezi mai jos pp.196—203.

³ Anexa, IX, ec. 108.

relativă uniformă, sau, în termeni astronomici, viteza de recesiune a unei galaxii date este pentru orice observator constantă în timp.

Să ne întoarcem acum la Milne care, făcând această alegere, examinează ce devine relația dintre scara t și scara τ în echivalența tridimensională. Or, trecînd la scara τ , în care observatorii apar în repaus relativ, spațiul devine cel „comun”: metrica spațiului devine invariabilă. Și Milne introduce ipoteze — implicite și de fapt restrictive — după care această metrică „comună” trebuie să fie hiperbolică, adică neeuclidiană și de curbura negativă. Altfel spus, în măsura în care pentru Milne spațiul cosmic poate fi considerat ca o structură obiectivă, el este infinit. Aceasta ne arată că Milne era tot atît de atașat de ideea unei lumi infinite pe cît erau Eddington și Lemaître de cea a unei lumi finite. Dealtfel, motivele lui Milne nu sînt mai convingătoare decît motivele contrarii ale rivalilor săi. . . Să așteptăm ca fizionomia Universului milnean să fie ceva mai bine schițată pentru a le examina.

Diferitele aspecte metrice pe care poate să le ia echivalența unică, după cum rețeaua de coordonate este construită pe baza scării t sau pe cea a scării τ , sînt acum bine schițate în cele trei dimensiuni. În primul caz, în afara faptului că timpul are o origine naturală și că *ego*-urile se văd unele pe altele în mișcare relativă de îndepărtare rectilinie și uniformă, este imposibil să se conceapă o simultaneitate sau un spațiu „comun”. Situația relativă a observatorilor echivalenți se aseamănă într-o oarecare măsură cu cea a observatorilor din teoria relativității restrînse: fiecare este îndreptățit să considere că metrul altora se contractă și că ceasul său rămîne în urmă; diferența constă în aceea că a existat un moment inițial comun tuturor. În raport cu această origine comună, fiecare îi consideră pe ceilalți mai „tineri” decît el. Spațiul este euclidian, însă nu există decît spații „proprii”: lungimile nu sînt invariante. Combinate cu măsurătorile de timp, corespondența lor de la un observator la altul se realizează prin aplicarea transformării Lorentz.

În scara τ , dimpotrivă, timpul este infinit în ambele sensuri și membrii echivalenței sînt permanent în repaus relativ. Simultaneitatea este „comună”, la fel și spațiul, dar acesta nu mai este euclidian, cu toate că păstrează proprietățile metrice de izotropie și de omogeneitate ale spațiului euclidian și că rămîne infinit.

Cu ajutorul unei ipoteze suplimentare, Milne va putea face din „echivalența” tridimensională, comunitate de observatori ideali, un adevărat model de univers. Se va putea pune atunci problema confruntării cu acest model a cunoștințelor fizicii și astronomiei empirice, dar va trebui să ne întrebăm: ce reprezintă variabila

„timp”, care figurează în ecuațiile fizicii? Este acesta timpul t , sau timp τ ? Milne crede că tocmai în această privință fizica tolerează un echivoc și că variabila temporală nu are același sens în diferitele ramuri ale teoriei fizice: timpul τ este cel al ecuațiilor mecanicii newtoniene, iar timpul t cel al ecuațiilor electromagnetismului ale lui Maxwell¹; Milne recunoaște că în alte cazuri atribuirea rămâne îndoielnică, de exemplu când este vorba de timpul măsurat prin dezintegrarea nucleelor radioactive. În orice caz, distincția nu poate fi obținută decât cu totul indirect, în ceea ce privește fenomenele cu durată foarte mare, căci în prezent, dînd acestui cuvînt sensul larg pe care i-l atribuie astronomii, cele două scări coincid. Dealtfel, așa cum vom explica mai departe, distincția dintre cele două scări ale timpului este departe de a avea, în teoria lui Milne, o semnificație exclusiv fizică; fiecare timp își are „valoarea” sa în sens axiologic. Mai simplu din punct de vedere matematic (cu toate că anumite legi sînt mai complicate în scara t), timpul t este mai adecvat pentru fenomenele cosmologice grandioase: expansiunea Universului sau desfășurarea galaxiilor spirale. Pe de altă parte — și mai ales — scara t , care implică reprezentarea unei origini naturale a timpului și a unei „singularități” fizice și matematice, impune ideea de creație. Timpul τ , dimpotrivă, timp galileian și newtonian, este, dacă se poate spune așa, timpul „ortodox” al științei, timpul pozitivist.

Acestea fiind spuse, să revenim la înlănțuirea deducțiilor. Pentru a transforma echivalența, comunitate de monade, în ceva care să conteze ca model de univers, pentru a pregăti trecerea de la cinematică la dinamică, este necesară o nouă ipoteză asupra densității membrilor echivalenței, adică asupra distribuției în spațiu a observatorilor echivalenți.

Se presupune că această distribuție trebuie să fie omogenă, dar acest principiu nu poate fi folosit în formă obișnuită, pentru că în cazul în care măsurarea mărimilor spațiale, deci a volumelor, încetează de a mai fi „comună”, el își pierde sensul obișnuit. Milne îl interpretează ca urmare prin intermediul principiului cosmologic, care își găsește aici o aplicație deosebit de izbitoare: mulțimea observatorilor trebuie să fie distribuită astfel încît să prezinte pentru toți aceeași aparență și să nu existe nici un punct de vedere asupra sistemului care să se deosebească de altele². O echivalență

¹ *Kinematic Relativity*, op. cit., § 46, p. 50.

² În treacăt fie spus, Milne, care în ultima sa lucrare atribuie lui Finlay-Freundlich și nu lui însuși introducerea expresiei „principiu cosmologic”, notează cu o evidentă satisfacție că în această privință el se poate considera drept moștenitorul lui

care ascultă de o astfel de lege de distribuție va fi numită „echivalență omogenă” sau, și mai bine, *substratum*, ceea ce înseamnă că un astfel de ansamblu va fi suficient pentru a forma cadrul fundamental de referință al unei dinamici deductive. Într-un anumit sens, numărându-se, *ego*-urile echivalenței capătă un fel de consistență fizică. În cazul scării τ , este suficient să spunem că distribuția monadelor trebuie să fie omogenă în sensul obișnuit al cuvântului. Avem în vedere forma metrică a acestui spațiu, care este independentă de observatorul care o determină dar în care figurează (ca de altfel în toate formulele construite în scara τ) parametrul t_0 , a cărui semnificație va fi precizată în cele ce urmează.

În schimb, în scara t nu există spațiu „comun” și se impune aplicarea directă a principiului cosmologic. Fidel metodei sale de a începe cu elementele cinematice, Milne obține mai întâi, prin aplicarea legii relativiste de compunere a vitezelor, valabilă și în R.C., o funcție de distribuție a vitezelor, apoi chiar o funcție de distribuție pentru observatori. Aceste funcții sînt determinate pînă la o constantă arbitrară. Cea de-a doua satisface ecuația de continuitate din hidrodinamică și ambele sînt în mod natural invariante la transformarea Lorentz¹.

Echivalența omogenă devine astfel un *substratum*, iar observatorii devin *observatori-particule* fundamentale. În acest fel, Milne consideră că a făcut destul pentru a transforma mulțimea *ego*-urilor într-un model de univers și ceea ce era necesar pentru a trece de la cinematică la dinamică și pentru a înlocui acele științe încă empirice și în consecință încă imperfecte, mecanica lui Newton și cea a lui Einstein, printr-o știință cu adevărat deductivă. Dar, înainte de a face acest mare pas, matematicianul demiurg se oprește pentru a-și contempla opera și pentru a-i scoate în evidență toate punctele de atracție, căci *substratum*-ul, atunci cînd este descris în scara t , este dotat într-adevăr cu proprietăți atît de remarcabile încît definirea sa pare să împrăstie toți norii care întunecaseră imaginea Universului din momentul în care spiritul renașterii spulberase reprezentarea elenică.

Substratum-ul are simetrie sferică în jurul oricărui observator; el este centrat fără a fi totuși antropocentric. După o formulă

Giordano Bruno. El citează un text englez din 1610 în care se face aluzie la motivele „pentru care Kepler se străduiește să răstoarne concepțiile lui Nolan și ale lui Gilbert și în special aceea concepție a lui Nolan conform căreia, dacă ochiul ar fi așezat în oricare loc din Univers, acesta i s-ar înfățișa absolut la fel cum ne apare nouă”. Citat în *Modern Cosmology*, ... op. cit., p. 72. Lui Milne îi plăcea să se considere, în știință, un eretic...

¹ *Kinematic Relativity*, op. cit., pp. 51—53, pp. 53—55; Anexa, IX, ec. (11, 112).

celebră, centrul său este pretutindeni și circumferința sa nicăieri. Pentru a-l descrie, trebuie să alegem un observator care să facă parte din el, cu toate că această alegere este lipsită de importanță. Pentru un asemenea observator, O , *substratum*-ul ocupă în momentul t interiorul unei sfere în expansiune, de rază $r = ct$; numai interiorul însă, pentru că mulțimea particulelor *substratum*-ului este o mulțime deschisă, care — tot din punctul de vedere al lui O — se apropie oricât de mult de frontiera ct , dar nu o atinge. Nici pe frontieră, nici în afara ei nu există nimic și din exterior *substratum*-ul nu se poate vedea; trebuie să fii acolo pentru a-l cunoaște. Dacă observatorul O se deplasează, el va rămâne întotdeauna în centru, pentru că înfățișarea *substratum*-ului este aceeași pentru orice observator fundamental. În raport cu O , fiecare particulă a *substratum*-ului este animată de o viteză de îndepărtare rectilinie și uniformă, proporțională cu distanța sa. *Substratum*-ul se află în expansiune și viteza de îndepărtare a particulelor se poate apropia oricât de mult de viteza c a luminii.

Pe de altă parte, densitatea particulelor, măsurată de către O , nu este uniform distribuită în interiorul sferei (omogeneitatea cosmosului este intersubiectivă, ea nu apare în reprezentarea unui singur observator). Măsurată de către O , această densitate crește de la centru la periferie și tinde spre infinit pe măsură ce privirea observatorului se apropie de frontieră: el vede pe scurt Universul îndesindu-se infinit și suprafața sferei al cărei centru îl ocupă îi apare ca o singularitate, în sensul matematic al cuvântului. Natural, este vorba de un fel de efect de orizont, pentru că înfățișarea este aceeași pentru toți observatorii. Totuși, singularitatea de frontieră nu este o simplă iluzie; ea este, dimpotrivă, „adevărată” și plină de sens, pentru că reproduce în prezentul fiecărei monade singularitatea inițială a Universului, adică creația, care în ceea ce o privește nu are nimic iluzoriu.

Într-adevăr, așa cum am văzut, în scara t există o origine naturală a timpului și descrierea *substratum*-ului în această scară implică faptul că toate particulele au fost reunite, în vecinătatea timpului $t = 0$, într-un volum arbitrar de mic¹. Acest moment inițial inaccesibil, acest zero al timpului, această singularitate de

¹ Aceasta este imaginea, care, atunci când medita la expansiunea galaxiilor i s-a impus lui Milne ca un fel de iluminare; să presupunem, spune el la un moment dat, un ansamblu de particule reunite într-o sferă și animate de viteze oarecare, dar constante; dacă particulele, după un timp foarte îndelungat, pot să se disperseze, ele se vor distribui în spațiu după legea lui Hubble. E. A. MILNE, *World Structure and the Expansion of the Universe*, Nature, 130, 1932.

care ne putem apropia cu gândul oricît de mult fără a o putea atinge vreodată, este creația. Dacă *momentul* creației este bine definit, ca o limită — în același mod ca zero-ul temperaturii în scara termodinamică — nu același lucru se poate spune despre *locul* creației. Într-adevăr, fiecare observator localizează creația în punctul în care se află el și deoarece nu există un spațiu comun, este îndreptățit să o facă; dacă deci creația a avut loc într-un punct, ea nu a avut loc în punctul *acesta* sau *acela*, ceea ce dealtfel ar fi inexplicabil după principiul rațiunii suficiente, adaugă Milne, care asociază descrierii sale matematice a *substratum*-ului subtile considerații teologice în stil leibnizian.

Deoarece efectul relativist de întârziere a ceasurilor — care nu afectează caracterul absolut al zero-ului timpului — face ca fiecare observator să-i considere pe ceilalți mai tineri decît el, și cu atît mai tineri cu cît aceștia se deplasează mai repede, se vede de ce singularitatea spațială de la suprafața sferei $r = ct$ reproduce singularitatea temporală din momentul inițial: în privirea observatorului central, mulțimea infinit de densă care se îngrămădește în vecinătatea suprafeței sferei conține o infinitate de particule oricît de aproape vrem de creație; aproape întreg Universul tocmai ia naștere... ¹.

Cu toată înfățișarea sa sferică, Universul milnean este deci *infinit*. Căci această sferă euclidiană este cu totul deosebită de hipersfera riemanniană în expansiune a lui Eddington și Lemaître. Mai întîi, prima nu este decît înfățișarea legată de alegerea unui anumit cadru metric, în timp ce a doua este „comună”. Apoi, pentru că numai *interiorul* sferei milneene² este identificabil cu cosmosul — frontiera fiind inaccesibilă, în toate sensurile acestui cuvînt — Universul este, din punct de vedere topologic, o mulțime „deschisă”, în timp ce sfera lui Einstein, chiar pusă în mișcare de către Lemaître, este o mulțime „închisă”, chiar „compactă”. Trecerea de la scara t la scara τ transformă dealtfel sfera milneană într-un spațiu tridimensional infinit. Astfel, în timp ce modelele relativiste cu curbura spațială pozitivă aveau caracterele geometrice cerute pentru a reprezenta ideea intuitivă de univers *finit*, lumea milneană poate fi numită fără echivoc *infinită*.

Milne acumulase dealtfel, în prima sa carte, probele — nematematice — în favoarea infinității Universului, încercînd, în mod invers, să respingă argumentele lui Eddington în favoarea posibi-

¹ *Kinematic Relativity*, op. cit., § 54, pp. 55—56.

² În limbaj matematic, ar trebui să spunem dealtfel „bula” milneană și „varietatea” einsteiniană.

lității existenței unei lumi închise (el respingea în special analogia cu suprafața Pământului). Probele lui Milne sînt ingenioase și în strictă conformitate cu viziunea sa fundamentală asupra lucrurilor : el se menține în logica aparenței și se întreabă dacă un observator care ar călători indefinit în Univers ar putea ajunge vreodată la certitudinea că nu mai este nimic de văzut față de ceea ce a văzut deja. Milne trage o concluzie negativă, afirmînd în cele din urmă „că un Univers care ar conține un număr finit de obiecte ar fi irațional”. Dar aceste argumente nu sînt perfect clare și se simte aici părerea sa preconcepută că ipoteza după care spațiul ar putea fi identificat în mod obiectiv cu o varietate de curbură pozitivă trebuie înlăturată aprioric¹.

Milne nu ne convinge deci de infinitatea spațiului mai mult decît Eddington și Lemaitre de finitudinea sa. Ceva mai jos vom încerca să tragem cîteva concluzii din aceste eșecuri simetrice și complementare.

III. Dinamica și legile de mișcare

Odată echivalența constituită în *substratum* sau, dacă vrem (deși Milne nu se exprimă niciodată în modul acesta), odată *ego*-urile transformate în particule și considerate materiale, Milne presupune că aceste entități fundamentale, observatorii-particule, nu sînt singurele care pot să populeze modelul. El admite că se poate introduce în *substratum* o „particulă liberă”, careia nu trebuie neapărat să i se atașeze un ceas congruent cu cel al observatorilor fundamentali, și a cărei mișcare, raportată la unul sau la altul dintre acești observatori poate să fie o mișcare oarecare. Trecerea de la cinematică, adică de la descrierea mișcării, la dinamică, adică la rezolvarea problemei continuării mișcării, va putea fi încercată tocmai examinînd problema mișcării particulei libere în prezența *substratum*-ului. Aceasta deoarece exact aici se află pentru Milne frontiera, iar dinamica începe atunci cînd se pune întrebarea : fiind dată o mișcare la momentul t , care va fi mișcarea la momentul $t + dt$? Spre exemplu : își conservă *substratum*-ul în mod spontan proprietățile cinematice prin intermediul cărora a fost descris?

Prima problemă fizică care trebuie rezolvată în construirea unei dinamici apriorice este deci definirea mișcării unei particule de probă libere, fără a împrumuta nimic din experiența fizică și

¹ *Relativity, Gravitation, ..., op. cit.*, §§ 121—128, pp. 114—120.

bazându-ne numai pe proprietățile cinematice ale *substratum*-ului. În felul acesta va fi evitată introducerea arbitrară a principiului inerției și va fi satisfăcută condiția lui Mach, după care conceptul de inerție nu este acceptabil decât dacă inerția unui corp este definită în raport cu ansamblul corpurilor existente în Univers. Milne caută mai întâi soluția problemei în scara t , din motive care vor deveni mai clare ulterior. Din punct de vedere matematic, problema constă în a defini formal vectorul accelerație al particulei de probă ca o combinație de elemente cinematice care caracterizează poziția și mișcarea sa la un moment dat, un observator fundamental al *substratum*-ului fiind luat ca centru spațial de referință și ca cel care ține socoteala timpului. Milne arată că alegerea este determinată — până la o funcție arbitrară, notată cu $G(\xi)$ ¹ și care depinde de un singur parametru ξ fără dimensiuni fizice și legat de mișcarea la momentul considerat — dacă vectorul căutat îndeplinește două condiții formale: acesta trebuie să aibă dimensiunile fizice corespunzătoare (lungime +1, timp -2) și trebuie să fie invariant la transformarea Lorentz aplicată pentru trecerea de la un observator fundamental la altul. Se obține astfel o expresie simbolică a vectorului accelerație care poate fi considerată ca „lege de mișcare”, convenind că semnul „egal” în ecuație nu exprimă o egalitate empirică între niște mărimi măsurate, ci o definiție².

Hotărîrea de a considera funcția arbitrară G ca o funcție de un singur parametru, ξ , este foarte importantă pentru că ea determină, în mare parte, deducțiile ulterioare asupra gravitației. Dar valoarea ei este contestată de către Robertson³ care nu este convins de „argumentul dimensional” pe care îl prezintă Milne și după care, avînd în vedere faptul că unitățile fizice de bază trebuie să fie arbitrare, G nu poate să depindă de o variabilă care are dimensiuni fizice. După Robertson, G ar trebui să fie considerată ca funcție de două variabile, ξ și X . Numai o analiză detaliată ar permite să se pună suficient de bine în evidență argumentele fiecăruia. Subliniem această serioasă divergență pentru a ilustra dificultățile căii deductive, în care poate să apară în orice moment necesitatea introducerii unor axiome suplimentare. În orice caz, Robertson și-a menținut poziția, incredințat o dată mai mult de superioritatea teoriei R.G. În ceea ce îl privește, Milne nu a ținut

¹ Vezi Anexa, IX, cc. (113, 114).

² *Kinematic Relativity*, op. cit., §§ 61—70, pp. 62—68; despre „argumentul dimensional”, vezi 72, p. 68.

³ H.P. ROBERTSON, Recenzia cărții *Relativity, Gravitation and World Structure*, *Astrophysical J.*, 83, 1936, pp. 61—66.

cont în nici un fel de această obiecție, considerînd fără îndoială că ceea ce el numea în mod deliberat „strictul ortodoxism” al lui Robertson îl făcea pe acest matematician inapt pentru a înțelege filozofia sa...

Definiția accelerației permite să se obțină imediat ceea ce poate fi considerat drept o confirmare indirectă a procedurii folosite: dacă în ecuația de mișcare se substituie coordonatele unei particule fundamentale, accelerația se anulează, adică *substratum*-ul conservă spontan starea de mișcare prin care au fost definite elementele sale. *Substratum*-ul, definit ca o entitate cinematică, se dovedește în același timp, în virtutea legii stabilite, o entitate dinamică. Dealtfel aceeași concluzie rezultă și din considerații pur logice: deoarece fiecare particulă-observator este centru de simetrie în *substratum*, ea nu poate avea tendința de a se mișca într-o direcție mai curînd decît în alta; în sistemul său propriu de referință, ea va rămîne deci imobilă (vedem apărînd aici predicția lui Milne pentru principiul rațiunii suficiente).

Dar, pentru a determina complet ecuația de mișcare, trebuie să specificăm funcția arbitrară $G(\xi)$ care apare în definiția sa (pentru definiția lui ξ , variabilă cinematică caracteristică pentru particula de probă la un moment dat (vezi Anexa, IX, ec. 113)). Metoda folosită pînă acum nu mai este însă suficientă și Milne nu depășește această dificultate decît printr-un ocol a cărui semnificație ni se pare mult mai profundă decît cea a unui simplu artificiu de calcul. Dar, pentru a urma ordinea adoptată de Milne în expunerea cea mai completă și cea mai sistematică a teoriei sale, lăsăm pentru moment la o parte determinarea lui $G(\xi)$ și admitem că, în ecuația de mișcare a particulei de probă în prezența *substratum*-ului, funcția ia forma

$$G(\xi) \equiv -1.$$

În acest fel, sînt adunate toate elementele care îi permit lui Milne să construiască un sistem de concepte și de propoziții care au anumite analogii, fie cu cele ale dinamicii clasice, fie cu cele ale dinamicii relativiste. În felul acesta, pînă la o constantă arbitrară și remarcînd că

$$\xi^{1/2} = \text{constant}$$

este o integrală a mișcării pentru particula liberă, se poate defini masa inerțială a particulei, care nu se supune exact nici legii de transformare din teoria relativității restrînse, nici legii de conser-

vare din mecanica clasică (Anexa, IX, ec. 117). Pe de o parte, într-adevăr, masa unei particule depinde de viteza sa relativă față de un observator fundamental care îi măsoară mișcarea și ecuația obținută este identică cu cea a lui Einstein; dar, pe de altă parte, această masă este invariantă dacă se trece de la un observator fundamental la altul. Pe de altă parte, toate particulele fundamentale au aceeași masă în toate sistemele de referință fundamentale, ceea ce ar fi imposibil în teoria relativității restrinse. Această diferență este foarte importantă dacă va fi regăsită în relațiile în care apare energia; ea este legată de existența *substratum*-ului în teoria lui Milne, a cărui prezență permite să se evite alegerea necesară, dar arbitrară, a unui sistem inerțial în teoria relativității restrinse (ceea ce permite apoi definirea unei infinități de sisteme).

În sfârșit, plecând de la definițiile sale, Milne exprimă legea de mișcare în formă variațională.

Legea de mișcare în forma diferențială, obținută în scara t , seamănă destul de puțin cu expresia clasică a principiului inerției. De aici începe să se vadă că timpul care figurează în ecuațiile dinamicii clasice nu corespunde scării t , ci scării τ din relativitatea cinematică. Milne arată, într-adevăr, limitându-se mai întâi la calcule aproximative (viteze mici în raport cu c , distanțe mici în raport cu ct), că ecuațiile dinamicii construite de el, transformate în scara τ , coincid cu formula clasică a accelerației nule pentru particula liberă. Dinamica din scara τ se deosebește totuși de dinamica clasică prin aceea că, în teoria newtoniană, spațiul comun este euclidian și, în consecință, traiectoria particulei este o dreaptă, în timp ce în scara τ a relativității cinematice, spațiul comun este hiperbolic și traiectoria particulei libere este o geodezică a acestui spațiu (ca în modelele cosmologice rezultate din relativitatea generalizată).

Urmează apoi definirea forței, a lucrului mecanic, a energiei, a potențialului, toate în scara t .

Forța este definită prin diferența între mișcarea efectivă a particulei de probă și mișcarea particulei libere care are aceeași definiție cinematică la momentul considerat. Energia este lucrul mecanic al forței, mișcarea care intră în evaluarea acestui lucru mecanic fiind măsurată în raport cu mediul înconjurător din apropierea particulei de probă.

Milne regăsește astfel relația lui Einstein dintre masă și energie dar, din motivele indicate mai sus, această relație nu are același sens în relativitatea cinematică și în relativitatea restrinsă: în relativitatea cinematică, energia este un scalar, pe cînd în mecanic

lui Einstein, ea este a patra componentă a unui cvadrivector. Rezultă că ea este invariantă pentru toți observatorii fundamentali. La fel ca și masa, energia tuturor particulelor fundamentale este identică; este totuna cu a spune că mișcarea lor de îndepărtare reciprocă nu implică nici o acumulare de energie cinetică. După Milne, acest rezultat este foarte satisfăcător atunci când se aplică teoria la problema expansiunii galaxiilor.

Milne încearcă în sfârșit să introducă o funcție de potențial, al cărui gradient (cu semn schimbat) să fie forța, în analogie cu formulele clasice, ceea ce ar permite exprimarea, într-o formă de asemenea clasică, a principiului conservării energiei mecanice. Deși această transpunere directă nu este practicabilă, analogia poate fi totuși conservată printr-un artificiu matematic.

Transformarea noilor relații în scara τ , tot aproximativă, permite regăsirea ecuației fundamentale a dinamicii și a relației clasice dintre lucrul mecanic și variația energiei cinetice. În sfârșit, examinarea în cele două scări a formulelor în care intervine momentul cinetic duce la un rezultat pe care Milne îl consideră foarte important pentru cosmologie. Într-adevăr, dacă în scara τ existența unei forțe centrale implică, ca și în mecanica clasică, constanța momentului cinetic față de origine, nu același lucru se întâmplă în scara t ; din ecuațiile lui Milne rezultă într-adevăr că, în cazul existenței unei forțe centrale, momentul cinetic în raport cu originea crește proporțional cu timpul. Totul se petrece ca și cum *substratum*-ul în ansamblul său ar exercita asupra vecinătății oricărei particule fundamentale o acțiune comparabilă cu cea a unui cuplu¹.

Or prezența mișcărilor de rotație în Univers este un fapt foarte obișnuit. Acesta este chiar un aspect al fizionomiei Cosmosului mult mai evident pentru noi decât izotropia distribuției materiei în spațiu și decât expansiunea galaxiilor; el este totuși un aspect cu totul diferit de celelalte, aproape contrar lor. Acest fapt, însă, se explică perfect, după Milne, prin rezultatul pe care tocmai l-am menționat. Acesta este tocmai unul din punctele de superioritate ale relativității cinematice față de celelalte teorii: numai ea este capabilă să împacă într-o aceeași sinteză teoretică cele două aspecte contrastante pe care ni le prezintă Universul: aspectul său planetar, cu un centru și cu rotații în jurul acestui centru, și aspectul său extragalactic, cu absența oricărui punct central și predominanța mișcărilor rectilinii de recesiune² (Anexa, IX, ec. 124).

¹ *Kinematic Relativity*, op. cit., §§ 98–99, pp. 92–94.

² Vezi mai ales E.A. MILNE, *Kinematic Relativity*, în *Problèmes de Philosophie des Sciences*, Symposium de Bruxelles, 1947, Hermann, Paris, Actualités Scientifiques, 1065.

Edificarea dinamicii se încheie prin punerea ecuațiilor în formă lagrangeană, în scara t . Această transformare, conformă tradiției mecanicii raționale, permite să se regăsească elegant integralele energiei. Ea este necesară mai ales pentru efectuarea transformării complete și exacte din scara t în scara τ , în timp ce pînă acum Milne se mărginise la soluții parțiale și aproximative: îndeplinirea programului cere o desfășurare destul de impresionantă de calcule, iar cititorul vede cu surprindere apărind încetul cu încetul, dintr-un ocean de simboluri, o relație simplă și destul de familiară, care se reduce la expresia lagrangeană clasică în cazul în care există un potențial și se au în vedere viteze mici în raport cu cea a luminii. Este totuși imposibil să se obțină un principiu variațional general, comparabil cu principiul minimei acțiuni¹.

Este acum momentul să explicităm complet semnificația fizică și epistemologică a trecerii din scara t în scara τ . Dacă ne reîntoarcem la punctul de plecare, ne amintim că definiția funcției ψ , generatoare a echivalenței în starea de repaus relativ (cea care corespunde scării τ), implică introducerea unui parametru t_0 avînd dimensiunile fizice ale timpului. Dacă însă membrii echivalenței în mișcare relativă uniformă (timpul t) își reetalonează ceasurile în așa fel încît să apară unul față de celălalt în repaus relativ (timpul τ), parametrul t_0 va apare în mod necesar în funcția de reetalonare a ceasurilor și va căpăta o semnificație intuitivă foarte evidentă: el va trebui ales în așa fel încît la timpul $t = t_0$, să avem și $t = \tau$. Prezența parametrului t_0 în însăși definiția scării τ are deci semnificația că nu ne putem plasa în scara τ fără a ne referi la ceea ce, pentru un observator care folosește scara t , apare ca „vîrsta” Universului, intervalul de timp care îl separă de singularitatea inițială, de creație. Parametrul t_0 figurează însă în toate ecuațiile *exacte* ale dinamicii, în scara τ , mai ales pentru că acest parametru figurează în metrica ce caracterizează spațiul hiperbolic comun și nu se elimină decît în formele locale, deci euclidiene, care pot fi date acestor ecuații. Tocmai prezența acestui parametru t_0 în ecuațiile din scara τ ne obligă, de fapt, să construim dinamica în scara t , deși aici ecuațiile au o formă mult mai neobișnuită. Căci dacă am dori să construim dinamica în scara τ , nu am avea nici un motiv să presupunem că spațiul nu este euclidian; prezența parametrului t_0 ar fi deci ignorată, sau acesta ar trebui introdus într-un mod cu totul arbitrar. Prin urmare, numai scara t permite construirea unei dinamici „fără constantă” și în întregime apriorică².

¹ *Kinematic Relativity*, op. cit., §§ 101–106, pp. 95–107.

² *Ibid.*, §§ 119 și 121, pp. 109–111.

Dincolo de aceste argumente tehnice, vedem apărînd preferința metafizică a autorului pentru scara t , preferință asupra căreia vom reveni în comentariul nostru.

Pe de altă parte, particularitățile scării τ îi permit lui Milne să precizeze mai bine prin ce se deosebește teoria sa de teoria relativității restrînse. Transformarea Lorentz se aplică observatorilor fundamentali ai echivalenței t și nu unui set de două particule oarecare în mișcare relativă în scara τ ; dacă în Universul real identificăm, așa cum o face în general Milne, nucleele galaxiilor cu observatorii fundamentali din relativitatea cinematică, nu ne putem aștepta ca transformarea de coordonate între două particule oarecare aflate în mișcare relativă să ia întotdeauna forma transformării Lorentz, chiar dacă această mișcare este rectilie și uniformă.

Toate deducțiile precedente se bazează pe ipoteza că, în ecuația de mișcare a unei particule libere în prezența *substratum*-ului funcția neprecizată $G(\xi)$ este corect specificată în forma

$$G(\xi) \equiv -1.$$

Milne nu a demonstrat încă acest lucru; or, rezultat neprevăzut, această demonstrație va deschide drumul și pentru rezolvarea unei alte probleme capitale, cea a gravitației, iar deducerea legii lui Newton va apare de la sine din raționamentele prin care va putea fi determinată funcția $G(\xi)$. Acesta va fi, spune Milne, „marele moment” din dezvoltarea teoriei și în acest punct situația va fi, spune el în continuare, «*provocatively exciting*», expresie pe care, ne cerem scuze, nu știm cum să o traducem¹.

Fidel în această privință unei idei de bază a lui Einstein și tot atît de preocupat ca acesta de a pune capăt unei dezbateri la fel de vechi ca și mecanica, Milne refuză să considere gravitația ca un fapt brut, contingent în raport cu structura geometrică și cinematică a Universului. Faimoasa expresie *hypotheses non fingo* a lui Newton este inacceptabilă în filozofia sa a naturii, din motive pe care le vom preciza în cele ce urmează. Trebuie deci ca, într-un mod sau altul, cu eventualele corecții necesare, legea gravitației să reiasă din conceptele teoriei, așa cum legea de mișcare a rezultat din definiția cinematică a echivalenței.

Dealtfel, chiar din momentul stabilirii formulelor pentru accelerație se schițează o tentativă de deducție: Milne observă că în scara t , pentru o particulă de probă liberă, nefundamen-

¹ E. A. MILNE, *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, op. cit., p. 84.

tală, accelerația poate fi considerată aproximativ ca efectul gravitației exercitate asupra particulei de probă de sferă al cărei centru este particula fundamentală, care are aceeași viteză cu particula de probă (în raport cu observatorul din origine) și a cărei rază este egală cu distanța dintre cele două particule. Ecuația aproximativă obținută aplicând formula referitoare la densitatea *substratum*-ului este tocmai legea newtoniană a dependenței forței de inversul pătratului distanței. Apare însă o diferență capitală: „constanta” gravitației nu mai este o constantă; ea este proporțională cu timpul t și trebuie s-o considerăm deci ca infinit mică în vecinătatea creației. Vom vedea importanța pe care Milne o acordă acestui fapt, care are îndeosebi avantajul că suprimă neverosimilitatea unei stări de concentrare hiperdensă, care, în cazul în care constanta gravitației este într-adevăr constantă, pare să interzică declanșarea procesului de expansiune. Pe de altă parte, relația care dă pseudoconstanta gravitației în funcție de elementele *substratum*-ului conține un factor M_0 , constant, care este o cvasimasă a Universului, obținută prin extinderea la sferă $r = ct$, a densității din vecinătatea originii, și a cărei evaluare numerică conduce, notează Milne, la o valoare de același ordin de mărime cu masa modelelor „închise” din cosmologia relativistă¹.

În felul acesta sîntem în posesia elementelor esențiale ale teoriei gravitației, dar, în această etapă, deducerea acesteia nu este decît schițată: pe de o parte nu este vorba decît de formule aproximative, iar pe de alta, ipoteza asupra valorii lui $G(\xi)$ nu este încă justificată.

Așa cum am arătat, această justificare îl obligă pe Milne să abandoneze traseul riguros liniar de pînă acum al deducției sale și să facă un ocol a cărui legitimitate epistemologică este discutabilă. Mai precis, acest ocol constă în a regăsi conceptul de *substratum* pe o altă cale decît cea prin care s-a ajuns inițial la el. Acest concept, după cum ne amintim, a fost obținut sintetic prin adăugarea unei ipoteze de numărare, deci legată de densitate, la echivalență, multiplicitate într-o oarecare măsură intersubiectivă, fără o adevărată materialitate. Însă *substratum*-ul va fi definit acum ca un caz particular, chiar excepțional, de multiplicități mai generale—sistemele statistice de *particule*. Structura matematică a *substratum*-ului va putea fi deci complet determinată dacă, și numai dacă, îl situăm la intersecția a două drumuri deductive, unul, cel principal, plecînd de la conștiința individuală a succesiunii și ajungînd la legile dinamicii, iar celălalt, auxiliar dar indispensabil, constînd din speci-

¹ *Kinematic Relativity, op. cit.*, § 80, pp. 76—79.

ficarea proprietăților *substratum*-ului plecînd de la descrierea multiplicităților, ale căror elemente sînt numai măsurabile, fără a efectua ele însele măsurători. Pentru ca descrierea matematică a acestor multiplicități să fie posibilă, trebuie ca ele să poată fi distribuite în spațiu și în timp, ceea ce presupune constituit cadrul metric, echivalența, dar nu și cadrul fizic, *substratum*-ul. Se introduce astfel în teorie un anumit dualism, care este o concesie făcută materialității Universului, concesie impusă nu de evidența sensibilă, ci de acest reziduu al construcției matematice, funcția neprecizată $G(\xi)$. Din punct de vedere fizic, diferența dintre multiplicitatea oarecare — sistemul statistic — și multiplicitatea metrică — *substratum*-ul — este asemănătoare celei care separă gazul de lichid, adică un grad de dezordine și de nedeterminare de altul mai mic. Este interesant să notăm că, într-o fizică pe care am putea să o numim idealistă avînd în vedere fundamentele sale, concesia făcută materialității ia forma unei concesiuni făcute dezordinii...

Îndeplinirea matematică a programului fixat, specificarea *substratum*-ului în contrast cu sistemele statistice mai generale, este în esență următoarea: se pleacă de la ecuația lui Boltzmann din dinamica gazelor, care determină distribuția statistică a pozițiilor și vitezelor pentru un cîmp dat de forțe, deci de accelerație (este necesar și suficient ca funcția să se conserve de la t la $t + \Delta t$) (Anexa, IX, ec. 128). Milne folosește însă această relație în sens invers celui obișnuit. El determină mai întîi funcția de distribuție, făcînd-o invariantă pentru toți observatorii fundamentali. Această determinare antrenează introducerea unei noi funcții arbitrare, $\psi(\xi)$, care depinde de aceeași variabilă pe care o cunoaștem deja. Apoi el introduce în ecuația lui Boltzmann, ca valoare a accelerației, pe cea care rezultă din legea generală de mișcare (deci o expresie care conține funcția $G(\xi)$). Ecuația obținută în acest fel conține deci cele două funcții arbitrare de ξ , G și ψ . Supus o dată mai mult exigențelor epistemologiei, calculul nu păstrează, ca urmare a unei minunate simplificări, decît o relație diferențială de ordinul întîi, foarte simplă, între ξ , singura variabilă „care supraviețuiește”, G , ψ și derivatele lor în raport cu ξ . Integrînd-o, se obține o relație între $G(\xi)$, funcție neprecizată care figurează în legea de mișcare, și $\psi(\xi)$, funcție neprecizată a distribuției statistice. Pentru a urmări raționamentul lui Milne este neapărat necesar să scriem această relație. Se obține

$$G(\xi) = -1 - \frac{C}{(\xi - 1)^{3/2} \psi(\xi)},$$

unde C este o constantă de integrare arbitrară.

Înlocuind în ecuația de mișcare această expresie a lui $G(\xi)$, se vor obține două componente distincte ale accelerației particulei libere. Cea dintâi, care corespunde factorului -1 , este independentă de ψ , deci de distribuția statistică; cea de-a doua, corespunzând factorului

$$-C \frac{1}{(\xi - 1)^{3/2} \psi(\xi)},$$

depinde, dimpotrivă, de aceasta. Se poate deci presupune în cazul general că un sistem oarecare, atunci când acționează prin prezența sa asupra particulei de probă, este o suprapunere a unui sistem nestatistic, hidrodinamic, reprezentat de factorul -1 , cu un sistem statistic reprezentat de cel de-al doilea factor. Or știm că *substratum*-ul, a cărui distribuție ascultă de ecuația de continuitate, este un sistem hidrodinamic și nestatistic. Este deci rezonabil să se admită că factorul -1 corespunde *substratum*-ului și să se pună

$$G(\xi) \equiv -1$$

în ecuația de mișcare a particulei libere în prezența *substratum*-ului¹.

Legea newtoniană a gravitației va apare mai apoi din analiza celei de-a doua părți — partea de origine statistică — a funcției $G(\xi)$. Într-adevăr, atunci când se examinează ce devine această parte în cazul unei particule libere puțin îndepărtată de origine și având o viteză mică față de c , se observă — ceea ce nimic nu făcea să se prevadă — că aceasta ia de la sine forma newtoniană. În acest caz, partea corespunzătoare a vectorului accelerație poate fi identificată cu rezultatul unei atracții newtoniene exercitată asupra particulei de către o condensare de materie situată în „centrul aparent al sistemului”, adică în punctul pe care îl ocupă observatorul fundamental față de care particula liberă este în repaus. Reintroducând în formulă valoarea „constantei” gravitației, așa cum rezultă ea din considerațiile anterioare asupra cvasimasei Universului, se obține o definiție a masei gravitaționale a condensării².

În legătură cu forma funcției $G(\xi)$, se impune o observație: atunci când constanta C nu este nulă, adică dacă nu este vorba de un

¹ *Kinematic Relativity*, op. cit., §§ 140—147, pp. 127—134.

² *Ibid.*, pp. 148—151, pp. 134—136; vezi Anexa, IX, ec. 134.

substratum pur, orice observator fundamental devine o singularitate. Aceasta creează o anumită dificultate în identificarea modelului milnean cu Universul fizic. Această identificare se bazează pe dubla ipoteză 1) că materia din Univers nu formează un *substratum* pur și 2) că particulele fundamentale ale *substratum*-ului pot fi identificate cu centrele galaxiilor. Ar trebui deci ca aceste centre să fie puncte de densitate infinită. Aceasta este o dificultate serioasă pentru cosmologia cinematică. Milne este de acord, recunoscând că identificarea Universului cu un *substratum* ar subestima caracterul discontinuu al galaxiilor, dar că, invers, asimilarea galaxiilor cu niște „sisteme statistice” supraestimează această discontinuitate¹.

Cu toate acestea, deducerea oarecum spontană a legii variației forței cu inversul pătratului distanței reprezintă pentru Milne o confirmare strălucită a valorii metodei sale, căci, dacă nu mai luăm gravitația ca pe un fapt, ci o considerăm ca o relație necesară între materie și mișcare, devine normal să vedem apărând această formulă din compararea a două funcții, dintre care una figurează în legea de mișcare, iar cealaltă în legea de distribuție a materiei.

Pe de altă parte, Milne pretindea că depășește în felul acesta un obstacol care, după părerea lui, compromisese viitorul teoriei relativității: neputînd să găsească o lege a gravitației care, rămî-nînd newtoniană, să fie invariantă la transformarea Lorentz, Einstein și elevii săi ar fi părăsit, pe nedrept, metodele incontestabile ale teoriei relativității restrinse, angajîndu-se în cele mult mai puțin sigure ale R.G.

Totuși, pentru a ajunge la o expresie precisă a legii gravitației, nu sînt suficiente cele spuse mai sus, care nu reprezintă în ultimă instanță decît o analogie. Într-adevăr, considerațiile precedente permit să se considere partea statistică a vectorului accelerație ca exprimînd acțiunea unei condensări de materie, situată în centrul aparent al sistemului. Acest centru aparent nu este însă definit decît instantaneu, pentru că poziția sa depinde de viteza particulei de probă, care este variabilă. Prin procedee asupra cărora nu ne putem opri, Milne reușește să obțină formule generale și exacte, relativ simple, pentru *potențialul* gravitațional, nu însă în aceeași măsură și pentru *cîmp*, căci relația dintre aceste două mărimi fizice nu are, în relativitatea cinematică, forma simplă cunoscută în fizica clasică. Din analiza lui Milne reiese

¹ „Aceasta este o imperfecțiune a modelului... Nu am reușit să formulez matematic un model de univers intermediar între sistemele statistice și *substratum*...” (*Modern Cosmology...*, op. cit., p. 103).

în plus că „constanta” newtoniană a gravitației este proporțională cu timpul¹.

Vom lăsa deoparte, ca străină scopurilor noastre, electrodinamica lui Milne, pentru a ajunge la analiza celui mai important dintre fenomenele cosmice observate: decalajul spectral al radiației galaxiilor.

IV. Deducerea deplasării spre roșu a nebuloaselor

Se vede clar că la baza construcției cosmologice a lui Milne se află intenția de a da o interpretare cinematică simplă și directă deplasării spre roșu a spectrului nebuloaselor printr-un efect Doppler clasic. Tocmai acestei interpretări îi corespunde *imaginea* inițială — roiul de particule animate de viteze constante și oarecare, a cărui dispersare conduce în final la o separare a vitezelor conform legii lui Hubble. Într-un stadiu mai detaliat al teoriei, este evident că scara t a echivalenței este forma metrică cea mai potrivită pentru a face ca deplasarea spre roșu să apară ca un fenomen cinematic.

Paradoxal însă, în R.C. deducerea deplasării spre roșu este destul de laborioasă, astfel încât Milne a trebuit să reia această problemă de două ori, iar moartea nu i-a permis să refacă așa cum ar fi dorit capitolul VIII al cărții sale *Kinematic Relativity*, în care este expusă dinamica luminii. Dificultatea provine din dualitatea scărilor de timp — și numai de aici — și acesta este motivul pentru care ea nu s-a ivit decât târziu. Într-adevăr, în scara t , adevărata scară cinematică, deducerea este simplă.

În schimb, în scara τ , particulele *substratum*-ului, adică centrele galaxiilor, rămân în repaus relativ și explicarea cinematică a deplasării spre roșu este imposibilă. Or, cum știința „obișnuită” amestecă cele două scări — ceea ce nu creează dificultăți pentru fenomenele locale — trebuie să admitem că decalajul spectral al galaxiilor este observabil în ambele scări. Este deci necesar să se dea și în scara τ un fel de explicație; Milne suferă aici consecințele reducerii epistemologice pe care a vrut s-o exercite asupra fizicii curente.

În privința acestui punct important, poziția sa nu a fost însă constantă. Ea apare în ultimul său stadiu în capitolul IX din *Modern Cosmology...*, singurul capitol al acestei lucrări în

¹ *Kinematic Relativity*, op. cit., cap. X—XI, pp. 137—155.

care dezvoltarea capătă o formă oarecum matematică. Se poate crede că Milne, știindu-și zilele numărâte, a dorit să se folosească de ocazia pregătirii *Lecțiilor* ținute la Universitatea din Birmingham pentru a pune la punct cu suficientă precizie noile sale idei asupra unei părți esențiale a teoriei sale.

Vom începe deci cu această a doua versiune. Raționamentul este delicat, în parte pentru că Milne este în fond destul de grijuliu să se pună de acord cu „ortodoxismul” și pentru că inserarea ideilor tradiționale în teoria sa este dificilă. Milne pleacă de la formula clasică a lui Bohr, care dă legătura dintre energia fotonului de origine intraatomică, frecvența sa și constanta lui Planck. Este bine poate să enumerăm diferitele mărimi cărora poate să li se aplice această formulă în analiza problemei; acestea sînt:

- a) constanta lui Planck h ;
- b) energia emisă sau absorbită în timpul unei tranziții cuantice determinate, de către un atom definit, această energie fiind măsurată de un observator legat de atom;
- c) energia transportată de un foton în timpul propagării sale în spațiu;
- d) frecvența de emisie sau de absorbție a fotonului, în condițiile definite la punctul b; aceasta se măsoară în spectrul de referință, în care fotonului îi corespunde o linie spectrală definită;
- e) frecvența fotonului în timpul transferului său.

Milne nu presupune că energia fotonului, definită fie ca în cazul b, fie ca în cazul c, are aceleași proprietăți de invarianță pe care le are, în relativitatea cinematică, energia particulei libere din dinamică. Această energie este considerată doar ca invariantă în timp (*time-invariant*), adică se consideră că ea este, în raport cu un observator legat de atom, identică în toate scările de timp.

În schimb, nu este exclus ca energia definită ca la punctul c să dea rezultate diferite cînd se fac măsurători la emisie și la recepție. În ceea ce privește „constantă”, h , ea trebuie să fie considerată ca un moment cinetic, deci ca o mărime care crește proporțional cu timpul t . În scara τ , dimpotrivă, parametrul t_0 fiind fixat, constanta lui Planck este efectiv o constantă.

Acestea fiind spuse, în scara t variația seculară a lui h antrenează o variație a frecvențelor de la d și e fără nici o consecință observabilă, spectrul de referință al receptorului suferind un decalaj identic cu cel al fotonului călător. Un decalaj observabil se produce totuși, datorită mișcării de recesiune a observatorilor fundamentali ai *substratum*-ului; valoarea decalajului poate fi calculată cu ajutorul relațiilor pur cinematice și se dovedește în final identică cu cea datorată efectului Doppler clasic. În ace-

lași timp, în sistemul de măsură al receptorului, fotonul călător suferă o pierdere aparentă de energie, identică cu cea care îi afectează frecvența.

Lucrurile se petrec diferit în scara τ , iar analiza face să apară clar caracterul artificial al acestei scări și imposibilitatea de a duce pînă la capăt un raționament de amploare cosmică, uitînd că timpul „adevărat” este timpul t .

Să remarcăm că, la trecerea dintr-o scară în alta, ținînd cont de definiția clasică a frecvenței, produsul $n \Delta t$, unde n este numărul de fotoni emiși sau primiți în intervalul Δt , trebuie să fie invariantă în timp. Pe de altă parte, dacă h este constant atunci și frecvențele sînt constante. În sfîrșit, deoarece *substratum*-ul este în repaus, nu există nici un efect Doppler. În aceste condiții, se pune întrebarea cum se poate totuși observa un decalaj spectral la primirea fotonului? Un astfel de decalaj se observă pentru că schimbarea de scară de la t la τ *nu se poate efectua o dată pentru totdeauna*: parametrul t_0 care figurează în formula schimbării de variabilă are două valori diferite la recepție și la emisie; trebuie deci ca transformarea de la t la τ să fie aplicată de două ori și de aici rezultă o corecție pentru frecvență și pentru energie egală cu cea care se observă în scara t .

Trebuie să spunem că în această privință Milne nu se dovedește prea convingător. Slăbiciunea argumentației provine din faptul că scara τ fiind o scară instantanee la ordinul de mărime cosmic, descrierea în această scară a unor fenomene de amploare foarte mare este foarte dificilă fără introducerea unor artificii. Milne recunoaște: „Nu cred că vom putea obține o înțelegere convenabilă a deplasării spre roșu, dacă ne mărginim la considerarea scării τ . Cu toate că la baza opticii obișnuite se află această scară, ea nu poate face inteligibil decalajul spectral”¹.

În prima sa formă, raționamentul făcea o impresie mai bună pentru că, făcînd mai puține concesii ideilor clasice, era mai strîns legat de restul teoriei. Întreaga deducție era bazată pe principiul că fotonul trebuie să fie tratat ca un caz limită al particulei libere din dinamică. Formulele dinamicii fotonului erau deduse din cele ale dinamicii generale printr-o dublă trecere la limită (masa tinzînd spre zero și viteza spre c); aceasta permitea ca noțiunea de frecvență să fie introdusă în teorie fără a o împrumuta din altă parte. Pe de altă parte, legile generale ale dinamicii permiteau să se postuleze invarianța completă a energiei fotonului — ceea ce este contrar ideilor clasice, însă conform spiritului

¹ *Modern Cosmology...*, op. cit., p. 144.

relativității cinematice — de unde rezulta o adevărată demonstrație a variației seculare a lui h în scara t .

În scara t — în care nu există astfel de dificultăți — deplasarea spre roșu era explicată printr-un veritabil efect Doppler. În scara τ frecvența de la punctul d era cea presupusă variabilă, crescătoare cu timpul t (de fapt, asociat întotdeauna cu orice evoluție cosmică), în timp ce fotonul călător își păstra frecvența; de unde, la recepție, o aparentă „înroșire” a fotonului primit, în timp ce „în realitate” era vorba de o „albăstrire” a spectrului de referință ¹. Dar Milne nu a putut păstra formula pentru energia tranziției atomice în prima sa formă, de unde noua versiune.

V. Modelul milnean și Universul astronomiei

Echivalență, *substratum* de observatori-particule fundamentale, sisteme statistice de particule libere suprapunându-se *substratum*-ului, efecte gravitaționale care rezultă de aici, înroșire a fotonilor care se deplasează la distanțe mari în Univers, cu aceste caracteristici principale, modelul putea fi comparat cu observațiile astronomice.

Centrele galaxiilor sînt identificate cu particulele fundamentale ale *substratum*-ului, galaxiile cu subsistemele statistice care se condensează în jurul particulelor fundamentale. Rezultă de aici două inconveniente:

1. Așa cum am spus, particulele fundamentale, deci centrele galactice, nu pot fi decît singularități. Acest inconvenient este totuși atenuat de faptul că cunoașterea condițiilor fizice preponderante în centrul galaxiilor rămîne foarte limitată. Este posibil ca aici să aibă loc fenomene excepționale și Milne nu este nici primul și nici ultimul dintre astronomii contemporani care au avansat ipoteza că nucleele galactice sînt noduri cosmice importante. Jeans făcuse presupunerea că ele ar reprezenta punctele din care ar țîșni fără încetare în spațiu o materie de curînd creată ². Mult mai recent, Ambartsumian a presupus că galaxiile ar putea fi structuri în expansiune pornind de la un nucleu activ, de energie pozitivă ³. Aceasta face ca ideea că centrele galactice sînt singularități ale structurii cosmice să nu fie inacceptabilă în sine. Dealtfel, Milne invocă în sprijinul acestei ipoteze măsurători care arată

¹ *Kinematic Relativity*, op. cit., §§ 122—134, pp. 112—122.

² J. JEANS, *Astronomy and Cosmogony*, Cambridge, 1928, p. 352.

³ Vezi mai jos, p. 383.

că în centrele galactice luminozitatea crește foarte rapid pe măsură ce ne apropiem de centru, curba obținută prezentînd în centru un maximum extrem de ascuțit ¹.

2. Mai gravă este obiecția că definirea *substratum*-ului ca un ansamblu *continuu* de observatori nu se potrivește prea bine, atît din punctul de vedere al geometriei cît și al astronomiei, cu ipoteza suprapunerii unor subsisteme statistice cu *substratum*-ul; din punct de vedere geometric, pentru că aceasta obligă să se conceapă toate punctele spațiului ca singularități; din punct de vedere astronomic, pentru că nucleele galaxiilor sînt de fapt separate unele de altele prin condensări imense de materie și prin spații intergalactice și mai imense, dacă se poate spune așa. Știm că Milne nu ignora acest defect și i se poate acorda privilegiul de a se servi după caz de una sau alta dintre descrieri, cu toate că acestea nu sînt într-un acord perfect. Acest procedeu nu este atît de unic în știința modernă încît să i se pretindă o rigoare prea mare...

Proprietățile sistemului de galaxii pot fi deci asimilate celor ale *substratum*-ului: sistemul este infinit și în expansiune; el se supune principiului cosmologic; fiecare observator îl vede într-un mod identic cu oricare altul; expansiunea este izotropă; viteza sa este proporțională cu distanța; fiecare galaxie își păstrează indefinit o viteză constantă în raport cu originea (arbitrară); întregul Univers este conținut într-o sferă de rază *ct*; densitatea galaxiilor observate tinde spre infinit în vecinătatea suprafeței acestei sfere.

Dificultatea constă în aceea că toate acestea nu sînt adevărate decît în scara *t* și că este greu de știut în care dintre cele două scări, *t* sau τ , se fac măsurătorile efective din astronomie...

Mișcarea particulelor care compun subsistemele statistice — aceste subsisteme fiind galaxiile — este, după legile dinamicii milneene, mult mai complicată decît cea a galaxiilor; ba chiar stranie ². Conform acestor legi, orice particulă „liberă” parcurge o traiectorie cosmică definită o dată pentru totdeauna (este imposibil să se conceapă mișcări „întîmplătoare”, pentru că la scara cosmică legile nu mai sînt separabile de fenomenele cărora li se aplică) și soarta sa este următoarea: particula mai întîi se îndepărtează, cu o viteză care crește continuu, de nucleul căruia

¹ *Modern Cosmology...*, op. cit., p. 104.

² *Most fearful and wonderful* (cu totul teribil și minunat), scrie Robertson, de al cărui umor desigur că Milne nu era mai încîntat decît de „ortodoxismul” său (Recenzia cărții *Relativity, Gravitation...*, art. cit.).

fi era asociată la momentul $t = 0$, ea atinge într-un timp finit viteza luminii, apoi începe să-și micșoreze viteza pînă cînd se apropie de un alt nucleu, împreună cu care își continuă indefinit drumul ei. Cu alte cuvinte, galaxiile schimbă fără încetare materie. Milne stabilește riguros acest rezultat, conform cu dinamica sa, dar folosește o deducție calitativă tipică modului său de a vedea lucrurile : dacă particula se îndepărtează de nucleul „său”, aceasta se întîmplă pentru că suferă atracția gravitațională a întregului Univers, cu alte cuvinte, „cade” spre ceea ce reprezintă pentru ea centrul Cosmosului, respectiv particula fundamentală în raport cu care este în repaus. Dar, pe măsură ce particula se accelerează, acest centru aparent fuge tot mai repede¹. Atunci cînd particula atinge viteza luminii, centrul aparent dispare la orizont... pentru a reapare imediat de cealaltă parte, frînînd de acum înainte mișcarea și apropiindu-se fără încetare de particulă.

Din această discuție, Milne trage concluzia că în Univers trebuie să existe particule cu viteze foarte mari, pe care el caută în mod evident să le identifice — cu prudență totuși — cu particulele din radiațiile cosmice primare. În ceea ce privește particulele ajunse, la sfîrșitul carierei, să se plaseze în vecinătatea unui nucleu galactic, Milne sugerează că ele ar putea să formeze nebuloasele difuze pe care le conțin galaxiile. În sfîrșit, el a dedus din principiile sale o explicație a formei spirale a galaxiilor, dar nici o particularitate a acestei explicații nu este atît de netă pentru a o distinge categoric, prin consecințele sale observabile, de alte teorii mai „clasice” care au fost propuse. Explicația lui Milne nu pare să fi reținut prea mult atenția astronomilor.

În consecințele care rezultă din asimilarea Universului real modelului cinematic nu există nimic care să intre net în contradicție cu observația și, invers, nici ceva care să facă obiectul unei verificări particulare și indiscutabile. Constanța vitezei de recesiune a fiecărei galaxii, creșterea densității aparente a galaxiilor cu distanța sînt lucruri care încă nu intră în cîmpul observației. Aceasta este în realitate situația tuturor teoriilor cosmologice la ora actuală și nu există motive pentru a separa în această privință teoria R.C. de alte teorii. Poziția generală a cosmologiei teoretice față de observație va fi discutată într-un capitol ulterior.

¹ Tinere-ndrăzneț, ce-atît de-aproape ești de tîntă,

Nu te-ntrista cînd sărutarea vrea să te dezmință.

J. KEATS, *Odă la o urnă grecească*, trad. L. Blaga, în *Din lirica universală*, E.S.P.L.A., București, 1957. Însuși Milne o citează cu acest prilej în *Modern Cosmology...*, op. cit., p. 105.

B. Filozofia relativității cinematice

Cu toate că își propune exclusiv descrierea coerentă a Universului fizic, există mai multe motive pentru ca teoria pe care tocmai am expus-o în linii mari să poată fi numită filozofică, iar Whitrow are dreptate când, în legătură cu acest subiect, vorbește de o „filozofie naturală”, expresie împrumutată de la Newton. Într-adevăr:

1. Intenția explicită a lui Milne și a colaboratorilor săi este mai puțin de a reprezenta în mod satisfăcător din punct de vedere rațional fenomenele cunoscute prin observație și generalizate prin inducție, cât de a construi aprioric un model de univers pe baza unor axiome epistemologice și metodologice; construcția nu arată deci exact ca o teorie fizică în sens obișnuit.

2. Teoria este cosmologică în spiritul său, adică ea refuză să recunoască ca fiind de la sine înțeleasă o distincție între forma și conținutul Universului real și al legilor abstracte care îi ordonează fenomenele.

Aceste principii aveau să rămână după Milne principiile oricărei cosmologii noi.

Totuși, în concepția lui Milne cel puțin, dacă nu în cea a tuturor colaboratorilor săi, această cosmologie este în plus inseparabilă de teologie, iar teoria, în ochii principalului său autor, are ca rezultat, dacă nu ca scop, asigurarea concilierii „filozofiei naturale” cu învățătura creștină, așa cum o dovedește îndeosebi titlul ultimei lucrări a lui Milne¹.

Spre deosebire de cele două caracteristici precedente, următoarele două separă destul de net teoria lui Milne de toate celelalte teorii care se bazează pe principii analoage cu ale sale.

3. Rupînd în mod deliberat cu o tradiție tehnică, științifică și filozofică milenară, Milne trece la fundamentarea cunoașterii metrice a Universului nu pe baza măsurării lungimilor, ci pe cea a măsurării timpului. El se opune astfel tuturor filozofilor, care, de la sfîntul Augustin la Bergson, au contestat faptul că timpul ar fi ceva măsurabil și au vrut să facă din experiența timpului un domeniu inaccesibil metodelor matematice ale înțelegerii fizice. Pe de altă parte, încercarea lui Milne scoate în evidență un anumit paralelism care există între destinul „filozofiei naturale” și cel al filozofiei în general în epoca contemporană. Într-adevăr, meditația asupra timpului a devenit din ce în ce mai inseparabilă

¹ *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, lucrare pe care am citat-o de mai multe ori și care a fost publicată postum în 1952 de către Whitrow.

de meditația asupra existenței sau asupra omului. Încercarea lui Milne ne face să ne gândim că ea se află de asemenea în centrul meditației asupra Universului.

4. În sfârșit, Milne este primul „filozof natural” după Leibniz care încearcă să definească Universul în primul rând ca o comunitate — ideală — de monade conștiente, să descrie intersubiectivitatea metrică înainte de a trece la descrierea obiectivității fizice, cu alte cuvinte care încearcă să depășească, în sensul pluralității monadelor, opoziția tradițională dintre subiect și obiect. Or, filozofia modernă a încercat în mii de feluri să scape de această opoziție, în timp ce epistemologia i-a rămas în multe privințe prizonieră.

I. Epistemologia și metafizica lui Milne

Pentru Milne, filozofia este deci sursa oricărei teorii fizice, în sensul primordial că teoria trebuie să se bazeze nu pe constatări experimentale, ci pe axiome epistemologice, și să se dezvolte deductiv. În aceste afirmații există mai întâi un aspect polemic care trebuie subliniat și care sare în ochi încă de la începutul ultimei lucrări, citată deja, a autorului. Milne se declară un „eretice” în știință și consideră că această atitudine ar trebui să-i fie naturală omului de știință. Or Milne nu observă această atitudine la fizicienii timpului său, cărora le reproșează, cu o sinceritate și o vigoare puțin obișnuite, dogmatismul (fizica, scrie el, este mult mai dogmatică decât filozofia), ignoranța în filozofie, disprețul pentru persoanele, chiar cele mai marcante, care se abat de la ortodoxism. Această atitudine este cu atât mai puțin justificată cu cât în fizică rareori o „teorie acceptată” durează mai mult de un deceniu...

În epistemologie, ortodoxismul este empirismul pozitivist, cel mai tipic reprezentant al acestuia fiind, după Milne, Karl Pearson : o lege a naturii nu ar comporta nici o necesitate, nu ar fi decât o „rutină a percepției”; pentru știință interesant ar fi numai „cum” — și nu „de ce”. Dar, obiectează Milne, în afara faptului că Pearson reduce știința la o simplă acțiune utilitară, ceea ce ea nu este în mod exclusiv, aserțiunea acestuia că necesitatea legii naturale nu este o necesitate logică este de fapt o „dogmă”; căci, de unde putem ști acest lucru cu certitudine, dacă nu s-a făcut experiența, dacă nu s-au încercat până la capăt posibilitățile metodei deductive? Pentru știință există desigur, „fapte brute”, adică fapte a căror existență nu poate fi nici demonstrată, nici

respinsă pornind de la legile cunoscute; astfel, experiența lui Cavendish arată că corpurile masive, care ar putea să se respingă, sau să nu se influențeze reciproc, în realitate se atrag.

Dar, pe lângă faptul că rezultatele observaționale trebuie să fie luate în considerație cu tot atîta prudență ca și cele ale speculației teoretice, istoria științei arată că limita dintre „faptele brute” și celelalte fapte este variabilă și că este imposibil să se aleagă aprioric, dintre faptele observate, pe acelea care sînt destinate să rămîină pentru totdeauna „fapte brute”. Căci dacă omul de știință caută fără încetare să-și îmbogățească cunoștințele prin experiență, el caută în aceeași măsură, printr-o tendință care îi este la fel de naturală, să elimine „faptele brute” prin sistematizarea teoretică a cunoștințelor sale. „Astfel, omul de știință își face o glorie din ceea ce caută să elimine — sprijinul său pe observație¹”.

Dealtfel, empirismul este pînă la urmă incapabil să răspundă unor întrebări esențiale asupra legilor naturii: de ce există legi simple? Sînt ele exacte, sau aproximative? În ce sens sînt ele adevărate? Căci nimeni nu a reușit vreodată să dea un enunț clar sau o justificare convingătoare pretinsului principiu al inducției. Util, poate, pentru descoperirea regularităților și pentru a produce o „convingere personală” în continuarea acestor regularități, acest principiu este de fapt o propoziție fără conținut veritabil.

Cît despre „legea statistică”, ea nu poate fi, după Milne, decît un enunț secundar care nu are sens decît în raport cu legile primare exacte. De exemplu, Milne nu acordă nici un sens părerii că energia nu se conservă decît statistic. Pentru a afirma aceasta, este necesară o definiție a energiei, plecînd de la lucrul mecanic — dar în acest caz ea încetează să mai fie o entitate statistică². Dincolo de această critică riguroasă, dar pînă aici negativă, a empirismului, se schițează afirmații epistemologice și metodologice, care dealtfel sînt mai greu să fie distinse clar. Este vorba, înainte de toate, de reabilitarea și de promovarea metodei deductive în știința fizică; în plus trebuie să știm exact cum să înțelegem această metodă. Două pagini consacrate cărții *Principia Mathematica* a lui Whitehead și Russel arată că Milne nu înțelege metoda deductivă în modul în care o înțeleg acești autori, cărora le reproșează că sînt prea formalisti și că sacrifică uneori spiritul rigorii în favoarea aparențelor ei amăgitoare³. Este vorba, mai ales,

¹ E. A. MILNE, *op. cit.*, p. 21.

² *Ibid.*, p. 32.

³ *Ibid.*, pp. 4—5.

de analiza implicației, care nu permite să se înțeleagă ce este în realitate operația prin care cel care gîndește conchide o propoziție din alta. Noțiunea de implicație este ceva mai profundă decît simpla absență a contradicției. Fără a se teme de paradox și în opoziție cu celebrele analize ale lui Kant, Milne afirmă în plus că propozițiile sintetice nu sînt singurele care aduc o cunoaștere nouă, propozițiile analitice putînd de asemenea să conțină o astfel de cunoaștere, „pentru că ele au adăugat la premisele lor germenul procesului deductiv”. Contrar a ceea ce cred nematematicienii, matematica furnizează întotdeauna puțin mai mult decît ceea ce a fost pus în ea.

Se vede de aici de unde provine, la Milne, critica empirismului și care filozofie a cunoașterii este sursa teoriei relativității cinematice. Milne este, de fapt, un cartezian sau un platonician, în orice caz un metafizician al intuiției intelectuale, pentru care operația deductivă are sensul de a ne face să progresăm într-un Univers al esențelor și de a ne da astfel acces la înțelegerea divină. Este tocmai ceea ce Pearson și empiriștii nu înțeleg, faptul că semnificația științei este de a face ca „privirea noastră să pătrundă în spiritul lui Dumnezeu” (*the giving of insight into the mind of God*)¹.

Istoria geometriei ne arată ceea ce trebuie să fie o știință, căci geometria a știut să încheie procesul de eliminare a faptelor brute în așa fel încît să nu rămînă nici un reziduu irațional. Geometria a început desigur, la egipteni și la greci, prin constatarea empirică a anumitor regularități. Dar ea a devenit axiomatică, într-un mod imperfect la greci și perfect la moderni. Aceasta nu înseamnă că geometria nu ar avea nici o legătură cu experiența, ci că, dacă geometrul se lasă ghidat de experiență în alegerea axiomelor, el nu face apel în particular la experiență pentru a decide adevărul propozițiilor sale, pentru că referirea la geometriile neeuclidiene ar putea duce la confuzii în această privință. Posibilitatea lor logică nu face „îndoielnică” axioma euclidiană a paralelelor, ci arată numai că, fără ea, conceptul de plan nu este complet determinat; fără această axiomă, planul este pur și simplu subdescriș (*under-described*). Deosebirea dintre diferitele tipuri de geometrie ține numai de gradul de determinare pe care axiomele îl permit în descrierea esențelor. Vedem apărînd aici motivul profund al preferinței lui Milne pentru geometria euclidiană. Aceasta este mai satisfăcătoare din punct de vedere logic pentru că specifică mai complet conceptele, iar unul dintre avantajele

¹ E. A. MILNE, *op. cit.*, p. 12.

epistemologice ale scării t este acela că aceasta permite salvarea, cu prețul, este adevărat, al comodității unui spațiu „comun”, a geometriei euclidiene.

În ceea ce privește confruntarea geometriei cu „spațiul fizic”, ea este lipsită de sens și idealismul lui Milne se afirmă cu putere aici: nu există „spațiu fizic”, spune el, „există numai spațiul abstract ales de gânditor ca structură în care își poate ordona fenomenele”¹. În definitiv, teoremele geometriei se referă la „forme sau idei platoniciene” și, plecând de aici, se poate înțelege rolul observației în geometrie: aceasta nu poate decide în privința adevărului teoremelor, dar poate „verifica dacă un exemplu concret și particular de triunghi se poate încadra într-o oarecare măsură în entitatea abstractă reprezentată de triunghiul plan, așa cum este acesta definit de un anumit sistem de axiome”². Există aici ceva care amintește participarea platoniciană, cu toate dificultățile pe care, dealtfel, aceasta le implică și asupra cărora vom reveni.

Or, ceea ce a fost îndeplinit pe această cale de geometrie trebuie să fie întreprins și de științele cele mai înrudite cu geometria, în primul rând cinematica, care trebuie să îmbogățească esențele geometriei cu o definiție a mișcării, ceea ce face necesar, așa cum au arătat argumentele lui Zenon, să se formuleze axiome cu privire la trecerea timpului.

Se vede deci că, pentru Milne, procesul deductiv care tinde să elimine din știință faptele brute și reziduurile iraționale constă nu din formalizarea, cu ajutorul unor simboluri goale de sens, a enunțului relațiilor empirice, ci din construirea apriorică a unui univers de concepte cu care datele experienței vor fi confruntate după aceea. Această definiție a științei nu este lipsită de analogii cu cea a lui Descartes, așa cum Milne însuși o remarcă cel puțin o dată. Aceasta nu o face însă mai convingătoare, pentru că ceea ce vedem reînviind este mai puțin metoda lui Descartes, cât metafizica sa. Căci orgolioasa teorie despre știință a lui Milne, ca și modelul său cartezian, este atât de strâns legată de o metafizică, chiar de o teologie, încât ea nu poate fi separată de acestea fără a-și pierde întreaga rațiune de a fi. Dacă rațiunea umană are într-adevăr puterea și datorită de a construi aprioric un univers conceptual, dacă, făcând aceasta, ea nu riscă să se dedea la un simplu joc de simboluri, ci, dimpotrivă, își asigură o adevărată pătrundere în lumea reală, aceasta se datorește faptului că un

¹ E. A. MILNE, *op. cit.*, p. 27.

² *Ibid.*, p. 27.

același creator a dat Universului legile sale și rațiunii, normele sale și puterea sa. Faptul că fizica poate să găsească în lume o ordine naturală preconstituită este condiția necesară și suficientă pentru ca ea să fie perfect deductivă, rămânând în același timp adecvată obiectului său.

Fără îndoială că observația este aceea care trebuie să decidă această adecvare, dar atunci când Milne vorbește de observație, se vede bine că el nu așteaptă de la ea această ajustare progresivă și acest supliment indefinit de informație pe care știința tradițională, chiar cea mai teoretică, i-l va cere. În afară de faptul că ea „arată calea” (nu ne putem împiedica să ne gândim din nou la Descartes, pentru care experiența permite „să se meargă în întîmpinarea cauzelor prin efecte”), ea indică entitățile „care realizează în natură — poate imperfect — ideile platoniciene la care se referă axiomele”. Dar ea are mai ales un rol „transcendental”, transcendental în sensul că prin consecințele sale filozofice depășește scopurile imediat utilitare ale descoperirii și ale verificării ideilor platoniciene. Ea trebuie să-și îndeplinească odată pentru totdeauna acest rol, pe care îl putem numi „metafizic”, răspunzând prin da sau nu la întrebarea dacă lumea este rațională și, în consecință, dacă Dumnezeu este rațional, ceea ce exclude în același timp Diavolul din Univers, pentru că „nu este necesar ca Diavolul să fie rațional”¹.

Dacă ne gândim la acest vâl care îl împiedică pe om să arunce o privire lipsită de pietate asupra actului însuși al creației (nu există fizică la timpul $t = 0$), constatăm deci ca acest Diavol pe care rațiunea îl alungă din Univers, că Milne angajase în teoria sa asupra științei și în cosmologia sa cu totul altceva decît păreri despre galaxii sau o metodă pentru definirea potențialului...

„Am primit formația unui fizician matematician, dar și pe cea a unui credincios al bisericii anglicane. Chiar dacă am avut perioadele mele de agnosticism, mi-am revenit întotdeauna. Cred cu cea mai mare fervoare că Universul a fost creat de un Dumnezeu atotputernic...”

Judecînd după aceste cîteva rînduri extrase din concluzia ultimei sale cărți², se poate crede că Milne a trăit personal cu o anumită acuitate conflictul dintre credință și raționalismul științific. Nu este nimic deosebit de original în aceasta, dar foarte originală este ieșirea găsită de Milne și modul său de a depăși

¹ E. A. MILNE, *Modern Cosmology...*, op. cit., pp. 155—156. Cum să nu ne gândim din nou la Descartes și la geniul său rău?

² *Ibid.*, p. 160.

conflictul fără a sacrifica ceva. De obicei, oamenii de știință care profesează credința creștină par să admită mai mult sau mai puțin clar și explicit că există un domeniu al științei și altul al credinței, și că important este de a nu le confunda, fie vorbind în mod teologic despre fizică, fie trăgând concluzii care ating domeniul teologiei pornind de la rezultate dobândite de fizică.

Dar Milne, cu pasiunea sa intelectuală și gustul său pentru certitudini raționale definitive, nu era dispus pe cât se pare să admită acest fel de compromis. Dacă fizica are limite, „trebuie ca ea să depășească, într-o sinteză mai largă, aceste limite”. Astfel, după Milne, teologia nu poate fi separată de fizică. Răspunzând la o întrebare despre existența lui Dumnezeu, că „nu avea nevoie de această ipoteză”, Laplace se condamna singur să ignore definitiv originea legilor naturale de care se servea¹. „Cercetătorii care lasă la o parte pe Dumnezeu, scrie Milne mai departe, adică rațiunea de a fi a Universului, sînt lamentabil handicapați în examinarea problemelor cosmologice”².

Se vede de aici cât de departe era Milne de pozițiile general admise care, dealtfel, dacă se pot într-adevăr susține, aceasta se întîmplă probabil numai în contextul unui empirism foarte profund și foarte hotărît, care ar fi exact la polul opus al temperamentului intelectual al lui Milne.

Milne nu ezită, de asemenea, să-și pună întrebări asupra raporturilor dintre Dumnezeu și Universul fizic și să aprecieze teoria sa, ca și pe celelalte, după criterii teologice. La citirea acestor considerații, oricît de subtile ar fi ele, impresia dominantă este aceea de anacronism; ai crede uneori că ai de a face cu un discipol al lui Leibniz care, prin 1720, ar fi avut cunoștință de teoria relativității și de spectrogramele galaxiilor obținute de Humason la Mount Palomar. Teologia și cosmologia se sprijină una pe alta într-un mod oarecum circular, după schema următoare: pe de o parte, lumea își manifestă originea divină prin conformitatea sa generală cu modelul milnean, care face să se înțeleagă că Universul a fost în mod necesar creat și care explică, în același timp, originea Universului și a legilor cărora li se supune. Pe de altă parte, certitudinea pe care o avem în privința originii divine a lumii ne ghidează în alegerea și determinarea modelului, permițîndu-ne să înlăturăm soluțiile care nu sînt în conformitate cu principiul rațiunii suficiente și pe care Dumnezeu, rațiune suverană, nu le-ar fi ales, ca și soluțiile care nu sînt demne de măreția creato-

¹ E. A. MILNE, *Modern Cosmology...*, op. cit., p. 159.

² *Ibid.*, p. 62.

ului. Să examinăm mai îndeaproape această argumentație. În echivalența t , care poate fi considerată în multe privințe ca cea mai „adevărată” dintre toate, există într-adevăr un zero natural al timpului, care este un moment absolut cu toată relativitatea măsurătorii timpului (momentul coincidenței între doi observatori luați la întâmplare este cel al coincidenței *tuturor* *ego*-urilor echivalenței). Acest moment reprezintă creația: nu se poate spune nimic despre starea Universului *înaintea* acestui moment — nu pentru că nu se poate ști nimic, ci pentru că ar fi absurd (cum ar fi să vorbim despre logaritmul unui număr negativ). Nu se poate spune nimic nici despre starea Universului *la* acest moment. În schimb, starea Universului poate fi determinată în orice moment *după* momentul zero.

Astfel sînt împăcate într-un mod pozitiv dogma religioasă a creației și exigența rațională de inteligibilitate universală. Căci creația, impunîndu-se rațiunii, nu își pierde caracterul misterios. Aspectul său asimptotic din punct de vedere matematic o face să fie un eveniment inaccesibil privirii omului: nu o putem „contempla”¹. Ea rămîne „învăluită”, pentru a folosi o expresie care revine des la Milne atunci cînd vorbește despre aceste lucruri. Dar, odată stabilit cadrul conceptual al echivalenței t , destinul Universului este clarificat: deoarece variabila t este pretutindeni prezentă (chiar și în scara τ , sub forma parametrului t_0), Universul „nu lasă niciodată să se uite că a fost creat”, „sistemul strigă (*cries out*) că a fost făcut de un Dumnezeu exterior timpului și spațiului”². Or, proprietățile echivalenței rezultă numai din determinarea condițiilor unei măsurători raționale a timpului. Pentru monadele care caută să se pună în acord pe baza unei astfel de măsurători, creația apare deci ca o veritabilă necesitate logică. Teoria relativității cinematice conduce deci prin ea însăși la ideea creștină de Dumnezeu, ființă rațională, dar în același timp creator al lumii și care transcende rațiunea umană. Fără să fi dat vreodată o semnificație apologetică operei sale, Milne este totuși convins că ea contribuie la armonia rațiunii și a credinței. El ajunge chiar pînă la a spune că unicitatea Universului — relativitatea cinematică „își face o glorie” din a fi făcut-o înțeleasă — este „un argument autentic în același timp pentru raționalitatea și unicitatea lui Dumnezeu”³.

Cosmologia conduce deci la teologie, dar și invers, ideea unui Dumnezeu rațional capătă o valoare științifică constructivă:

¹ *Relativity, Gravitation...*, op. cit., § 150, p. 134.

² *Kinematic Relativity*, op. cit.

³ *Modern Cosmology...*, op. cit., p. 50.

deoarece Dumnezeu este rațional, se poate ști în ce sens se exercită atotputernicia sa și, mai ales, în ce sens nu se exercită ea. Milne insistă frecvent și cu tărie, uneori cu un curios accent de sfidare, asupra limitărilor pe care absurditatea logică le impune atotputerniciei divine. „Însuși Dumnezeu este limitat de rațiune în actul divin al creației. Dumnezeu nu poate face imposibilul”¹.

Odată aflați în posesia ideei de Dumnezeu creator, rațional, această idee devine aproape „operatorie”. Astfel ea exclude posibilitatea unui Univers care să fi avut la origine o extindere finită; în această extindere ar trebui să fie definită simultaneitatea. Aceasta este însă cu totul imposibil în scara în care este identificat momentul inițial, iar această imposibilitate logică poate fi considerată ca o imposibilitate ontologică. Pe de altă parte, dacă Universul, așa cum am văzut, a fost creat cu necesitate într-un punct, nu se poate să fi fost creat într-un anumit punct dintr-un spațiu preexistent (este argumentul lui Leibniz contra lui Clarke), pentru că nu ar fi existat o rațiune suficientă pentru această alegere, iar Dumnezeu, ființă rațională, nu face nimic fără motiv. Ca urmare, trebuie să evităm acest element de arbitrar în sinteza cosmologică. Este tocmai ceea ce face, după cum am văzut, relativitatea cinematică: având în vedere relativitatea spațiului în scara t , fiecare dintre observatorii fundamentali se poate considera pe bună dreptate ca ocupând chiar locul creației.

Argumentul pe care Milne îl opune atomului primitiv al lui Lemaitre este analog cu acesta. Dacă se presupune, într-adevăr, că istoria lumii începe cu explozia acestui supraatom, ar trebui să se explice de ce Universul a fost creat tocmai cu această cantitate de mișcare, definită independent de orice observator, sau de ce cantitatea de mișcare inițială se poate anula în raport cu un anumit observator bine definit. La aceste întrebări principiul rațiunii suficiente nu furnizează un răspuns, ceea ce exclude posibilitatea ca Dumnezeul rațional să fi creat lumea în acest mod. În schimb, problema nu se pune în relativitatea cinematică, unde mișcarea de expansiune nu antrenează nici o acumulare de energie cinetică, în nici un punct și în raport cu nici un observator.

În sfârșit, pentru a cita un ultim exemplu de argument teologic (s-ar putea da și altele) folosit de Milne în aprecierea ipotezelor cosmologice, Milne exclude posibilitatea existenței unui model

¹ *Modern Cosmology...*, op. cit., p. 33. Milne nu este un adevărat leibnizian, în sensul că nu face o distincție netă între imposibilitatea logică propriu-zisă și imposibilitatea rezultată din neconformitatea cu principiul rațiunii suficiente; se va vedea aceasta din argumentele care urmează.

finit de univers (de tipul primului model cosmologic al lui Einstein), pentru că un astfel de Univers nu ar fi compatibil cu măreția creatorului ¹.

Această cosmo-teologie, repetăm, este caracteristică lui Milne și ea pare deosebit de anacronică și pre-critică. Dar aici, ca și în alte privințe, meritul poziției lui Milne constă în radicalismul său. Milne merge pînă la capătul ideilor și pune astfel în plină lumină motivele unei tentații sau ale unei neliniști care animă mai mult sau mai puțin secret multe din controversele privind expansiunea Universului și alegerea unei ipoteze cosmologice și care dau cosmologiei stilul și fizionomia sa particulară în știința acestui secol. Punînd problema Universului ca idee și nu ca concept, ne situăm în mod necesar la limita științei și nu putem evita să luăm cunoștință în mod direct și explicit de relativitatea cunoașterii științifice, care nu este pe deplin sigură de sine decît dacă nu-și pune prea multe întrebări în legătură cu originea sa, adică cu experiența prerațională, și poate dacă nu împinge prea departe încercările sale de sinteză. Știința este imperiul mijlociului. Milne pretinde însă să parcurgă drumul cunoașterii de la o extremă la alta și tocmai această îndrăzneală îl deosebește de toți contemporanii săi.

II. „Filozofia naturală” și „metoda epistemologică” ale lui G. J. Whitrow

Teoria relativității cinematice, axiomele și metodele sale, nu sînt legate în mod necesar de epistemologia și încă mai puțin de metafizica lui Milne. La aceasta ne fac să ne gîndim analizele lui Whitrow, căruia îi datorăm o încercare mai convingătoare chiar decît cea a lui Milne de a da o bază epistemologică indiscutabilă „filozofiei naturale”, cum o numește el, forma cea mai desăvîrșită la ora actuală a acesteia fiind, după el, relativitatea cinematică ².

Amintim că Whitrow este unul dintre principalii făuritori ai teoriei relativității cinematice și că tocmai el este cel care a determinat forma funcțiilor-semnal ale echivalenței liniare prin aplicarea teoriei grupurilor.

Ca și Milne, Whitrow refuză empirismul epistemologic și subliniază paradoxul unei științe care nu încetează să-și extindă

¹ Așa cum am spus mai sus, Milne s-a pronunțat întotdeauna împotriva unui Univers finit. Dar acest argument teologic nu apare decît în ultima sa lucrare.

² G. J. WHITROW, *The Epistemological Foundations of Natural Philosophy*, în *Philosophy*, XXI, 1946.

aplicațiile practice și să-și simplifice în același timp ipotezele fundamentale. Acesta este un fapt de neînțeles pentru empirism. Whitrow constată că metafizica raționalistă este discreditată în fața oamenilor de știință și din acest moment gândirea sa se angajează pe o cu totul altă cale decât cea a lui Milne. În timp ce acesta reînvie cartezianismul, putem spune că metoda lui Whitrow este kantiană prin aceea că el caută înainte de toate să expliciteze principii care valorează ca condiții de posibilitate a unei științe metrice a Universului fizic. Aceasta îl face să constituie și să delimiteze un domeniu de adevăr pe care îl numește „epistemologic”, care nu relevă nici experiență, nici logică pură; pe scurt, o sferă a cunoașterii care corespunde, dacă se operează modificările necesare, la ceea ce Kant numește „transcendental”.

Pentru Whitrow, se impun două principii ce caracterizează metoda științifică: cel de uniformitate și cel de comunicabilitate. Se vede de aici că dacă epistemologia lui Whitrow este kantiană prin metoda sa, ea nu este deloc astfel prin conținut: „comunicabilitatea” nu este o categorie, iar intersubiectivitatea nu este o problemă a logicii transcendente. În tradiția raționalistă, adevărul este comunicabil în sine și pentru ca lucrul acesta să reiasă cu claritate a fost necesară întreaga dezvoltare a fizicii teoretice.

În legătură cu principiile sale, Whitrow pune întrebarea: nu dau ele oare o definiție prea largă metodei științifice, astfel încât ea să ignore distincțiile necesare între logică, matematică și fizică? La aceasta el răspunde categoric: tocmai compartimentarea arbitrară între științe este cea care creează confuzia epistemologică; axiomele citate trebuie să fie deci suficiente pentru a defini cadrul unei fizici apriorice. În acest spirit se va putea arăta că dinamica poate și trebuie să se conformeze modelului furnizat de geometrie și să se constituie ca știință deductivă. Din acest punct de vedere se observă că mecanica lui Newton, teoria relativității generalizate și teoria relativității cinematice sînt aproximații din ce în ce mai satisfăcătoare ale unei teorii fizice ideale, ale cărei concepte fundamentale depind direct de axiomele epistemologice. Pentru Whitrow, ca și pentru Milne, lecția epistemologică principală se află în istoria geometriei. Dar și asupra acestui punct interpretarea unuia diferă de a celuilalt.

Whitrow face remarcă că geometria evoluează de mult timp într-un sens „cripto-relativist”. De exemplu, cînd se trece de la geometria lui Euclid, știință a formelor esențiale, izolate și imuabile, la geometria carteziană și la geometria proiectivă, apare o unitate a conceptelor, însă numai prin introducerea unei noi mul-

tiplicități „alogice”, „relativiste”, centrată arbitrar, în una sau alta din aceste noi forme de geometrie¹.

Dar avântul geometriilor neeuclidiene este acela care a transformat complet natura problemelor filozofice ridicate de geometrie. Tot așa cum succesul geometriei euclidiene dusesese la nașterea disputei universalilor, dezvoltarea geometriilor neeuclidiene, adică constituirea geometriei ca disciplină pur formală, a suscitat o nouă problemă filozofică care îi va permite lui Whitrow să testeze valoarea axiomelor sale epistemologice. Această nouă problemă este : are geometria o semnificație ? Sau, mai mult : „Există obiecte cărora să li se poată aplica axiomele astfel încât axiomele să fie adevărate ?” Cu toate că acestei întrebări i se poate da un răspuns aritmetic, ea este de fapt legată de problema aplicării geometriei la cunoașterea lumii exterioare.

Răspunsul comportă desigur un anumit convenționalism, pentru că înregistrarea directă a experienței nu este suficientă pentru a scoate în evidență fără echivoc obiectele care prin ele însele fac semnificative anumite axiome, excluzând altele. Înainte de orice este deci important să se cunoască criteriile de alegere. Whitrow refuză aici să-l urmeze pe Poincaré, afirmând că criteriul de alegere nu trebuie să fie cel al simplității, căci simplitatea pe care Poincaré o are în vedere este simplitatea formală, pur sintactică și intrinsecă. Această simplitate nu se află însă într-un raport necesar cu semnificația conceptelor fundamentale considerate și, în orice caz, simplitatea intrinsecă a unei geometrii ca cea a lui Euclid poate foarte bine să antreneze o complicație epistemologică inutilă. Astfel, teoria relativității generalizate scoate în evidență faptul că nu există argumente indiscutabile pentru a dovedi că cel mai potrivit pentru descrierea lumii fizice este cadrul euclidian², cu toate că procedeele lui Einstein pot să ni se pară puțin arbitrar. Contrar empirismului, Whitrow susține deci necesitatea definirii apriorice a unei reguli, dar susține de asemenea că criteriul de alegere nu poate fi simpla comoditate formală. Criteriul trebuie să fie *epistemologic* și, în ceea ce privește geometria, răspunsul la întrebarea pusă se găsește în opera lui Helmholtz și a lui Sophus Lie : singurele spații omogene, izotrope și continue sînt cele de curbura constantă și există trei astfel de spații : cel

¹ Menționăm totuși că în ochii lui Descartes caracterul relativist al propriei sale geometrii răminea profund ascuns, așa cum o dovedește, de exemplu, modul în care vorbește despre obiectele geometriei în cea de-a cincea „meditație” a sa.

² Se vede că Whitrow nu înțelege în același mod ca Milne „privilegiul” geometriei euclidiene și că atitudinea sa față de ortodoxism — teoria relativității generalizate — este mult mai puțin polemică.

hiperbolic, cel sferic și cel euclidian. Local, pentru distanțe mici în raport cu raza de curbură, toate trei sînt euclidiene, astfel că alegerea geometriei euclidiene pentru a da formă cel puțin fizicii elementare este justificată prin rațiuni *epistemologice*. Descoperirile lui Helmholtz și Lie arată că, dacă se adoptă axiomele geometriei euclidiene, operațiile de măsurare devin posibile, cel puțin în formele cele mai primitive și mai puțin elaborate ale acestora. Într-adevăr, din axiome rezultă că proprietățile metrului observatorului A sînt independente de orientare și că măsurătorile făcute cu metrul lui A sînt congruente cu cele făcute cu metrul lui B , oricare ar fi mărimea lor. Principiile „transcendentale” de uniformitate și de comunicabilitate sînt în acest fel respectate.

Așadar, în aplicarea geometriei la experiență, elementele formale și elementele empirice, care joacă, desigur, și unele și celelalte, un rol, sînt totuși subordonate principiilor epistemologice caracteristice metodei științifice.

Whitrow indică de asemenea, fără a-și dezvolta însă prea mult argumentația, că aceleași remarci ar putea fi valabile și pentru aritmetică. El evocă, după Whitehead, o legendă cu privire la Conciliul de la Niceea : se spune că acolo ar fi fost imposibil să se numere exact episcopii prezenți; cînd s-au așezat în jilțurile lor erau trei sute optsprezece; cînd s-au ridicat pentru apel, s-au găsit trei sute nouăsprezece. Numărul lor n-a fost stabilit niciodată : atunci cînd se ajungea la ultimul, acesta lua imediat înfățișarea vecinului său. După Whitrow, această legendă evidențiază sensul axiomelor aritmeticii, căci nu există absurditate logică în faptul că în natură există mulțimi de obiecte care se comportă în raport cu numărarea, la fel de puțin „ortodox” ca — după legendă — adunarea de la Niceea. Aceasta este totuna cu a spune că axiomele aritmeticii trebuie considerate în esență ca „sintaxa unui concept de specificare, primitiv din punct de vedere epistemologic”, pentru că ele sînt în conformitate cu principiile de uniformitate și de comunicabilitate și formează baza operațiilor de numărare în forma lor cea mai elementară.

Aceste considerații îi permit lui Whitrow să pună problema centrală a analizei sale : poate fi construit un sistem simplu al dinamicii, care să fie fundamentat din punct de vedere epistemologic, în sensul în care este, așa cum am văzut, geometria euclidiană ? Există, în plus, „corespondențe” între cele mai simple tipuri de dinamică, așa cum există între geometrii ? Spre deosebire de Poincaré, pentru care există o diferență naturală între axiomele

geometricei și cele ale dinamicii¹, Whitrow consideră că trebuie să se răspundă afirmativ la această întrebare.

Într-un anumit sens, *principiul inerției*, caracterul său deconcertant, efortul fizicienilor și al filozofilor de a-l demonstra, amintesc din punct de vedere istoric de lunga dezbateră în privința axiomei euclidiene a paralelelor. În forma sa tradițională, enunțul principiului nu este deloc satisfăcător: dacă particula liberă se mișcă în vid, cum să-i reperezi traiectoria? Iar dacă există corpuri de care ne servim pentru a-i repera traiectoria, cum să înțelegi că aceste corpuri nu au nici o influență asupra ei? Trebuie deci să se găsească o formulare a legii inerției care să satisfacă principiul leibnizian al relativității spațiului și principiul lui Mach, care spune că inerția unui corp nu are sens decât în raport cu ansamblul celorlalte corpuri. Inerția nu poate fi o proprietate a unui corp izolat, ci „o relație între un obiect și o clasă de obiecte și un cadru de referință fundamental, format de către celelalte obiecte”. Aceasta nu poate decât să apropie inerția de gravitație. Cum trebuie deci construită o adevărată axiomă a inerției?

Întrebarea nu poate să-și găsească un răspuns satisfăcător decât în cadrul relativității cinematice. Dar înainte de a-l expune, Whitrow face un lung ocol, definind condițiile pe care trebuie să le îndeplinească un sistem de filozofie naturală și confruntând cu acest ideal principalele încercări efectuate pînă acum în acest sens. Acest ideal este cel al unei științe care ar putea să fie construită deductiv, pornind de la axiome primitive din punct de vedere epistemologic, în sensul definit mai sus. Mecanica lui Newton și teoria relativității generalizate sînt aproximațiile cele mai demne de luat în considerație. Ambele sisteme conțin aspecte arbitrare, dar teoria einsteiniană conține mai puține. Pe de altă parte, deoarece teoria relativității reprezintă prima încercare în acest sens, nu oferă încă o teorie completă a congruenței ceasurilor și etaloanelor de lungime. După Whitrow, punctul slab al teoriei lui Einstein, din acest punct de vedere, constă în aceea că nu comportă o analiză a relațiilor între diferitele ceasuri și rigle care pot fi utilizate de *același* observator; numai relativitatea cinematică se bazează pe axiome explicite care permit să fie puse în legătură toate măsurătorile. Cît despre cadrul de referință în raport cu care este necesar să fie descrise obiectele și fenomenele (Whitrow

¹ Argumentul lui Poincaré, la care se referă explicit Whitrow, este acela că experiențele care conduc la alegerea convențiilor geometriei nu se află într-o legătură directă cu obiectele proprii geometriei; acestea sînt experiențe de mecanică și de optică. Dimpotrivă, convențiile fundamentale ale mecanicii și experiențele care dovedesc valoarea lor se referă la aceleași obiecte sau la obiecte analoage.

nu pune explicit această noțiune de cadru de referință (*framework*) în legătură cu principiile sale epistemologice de uniformitate și de comunicabilitate, dar nu ar fi probabil prea dificil să scoatem în evidență această relație), nu există decât un anumit număr de moduri posibile de a-l concepe și toate au fost încercate de-a lungul istoriei. Whitrow consideră că soluția unitară apare la Parmenide, soluție care se caracterizează prin unitatea cadrului de referință și atemporalitatea sa. Prestigiul viziunii eleatice a Universului, datorat extremei sale simplități logice, a avut consecințe durabile asupra filozofiei naturale. Această influență s-a exercitat în sensul unei preponderențe a metodei geometrice asupra metodei aritmetice în filozofia naturală. Argumentele lui Zenon îndreptate împotriva aritmetismului pitagoreicilor i-au făcut pe greci, și multă vreme și pe moderni, să se ferească în același timp de orice monadologie și de orice încercare de a pune aritmetica la baza cunoașterii naturii. Pe de altă parte, influența lui Parmenide a făcut ca în spiritul uman să se „cristalizeze” în așa măsură noțiunea de „invarianță”, sub forma atemporalității, încât urma acestei influențe se găsește încă în conceptul galileian de timp, care este geometric, reversibil și... atemporal (*timeless*). În sprijinul acestor analize ar putea fi invocată de altfel coexistența în ontologia lui Spinoza a trei „valori”, cărora Whitrow le atribuie o origine parmenidiană comună: unitate, geometrie și eternitate.

Dacă cadrul fundamental nu este unitar, atunci trebuie ca el să fie definit ca o pluralitate ordonată de monade, esențial fiind să se cunoască natura elementelor și tipul relațiilor reciproce dintre ele. Leibniz ne oferă prima încercare în acest sens; definind monada prin conștiință, cel puțin virtuală, el angajează pluralismul pe o cu totul altă cale decât cea a aritmetismului pitagoreic și cea a atomismului lui Democrit (mai grosieră din punct de vedere filozofic). Leibniz este pe de altă parte primul care a avut complet format conceptul de relativitate a spațiului și a timpului, permițând astfel filozofiei naturale să se debaraseze de dificultățile de netrecut pe care le aduce cu sine ideea de spațiu absolut, în particular pentru că, „dacă spațiul este absolut, atunci nimic altceva nu poate exista din punct de vedere rațional și timpul nu trebuie să fie numit absolut, ci non-existent”.

Rezultă că, la Leibniz, nu există comunicare între monade și aceasta este deosebirea principală dintre sistemul său de filozofie naturală și relativismul modern. Într-adevăr, odată cu teoria relativității restrânse apare primul sistem de un tip nou (monismul parmenidian fiind primul, iar pluralismul leibnizian, fără comunicare între monade, fiind al doilea) în care cadrul de referință fun-

damental al fenomenelor este o pluralitate de monade în inter-comunicare. După Whitrow, există motive epistemologice care au făcut ca filozofia naturală să ajungă aici, căci știința naturii caută judecăți asupra cărora să poată fi posibil un acord universal; or, „un astfel de acord implică existența unei comunități care să poată decide dacă se pune sau nu de acord”. Pe de altă parte, în știința modernă, observatorii sînt din ce în ce mai puțin considerați ca spectatori și din ce în ce mai mult ca martori care contribuie direct la stabilirea adevărului.

Astfel se precizează sensul pe care îl capătă comunitatea ideală de monade pentru filozofia naturală în ultima sa formă. Această comunitate se definește prin operațiile care îi permit fiecăruia să se pună în acord cu ceilalți. În alți termeni, filozofia naturală caută *invarianti*, dar în loc să se definească prin caracterul său imuabil, invariantul se va defini de acum încolo prin *identitatea pentru o întreagă clasă de observatori*. Prin acest concept de invariant, filozofia naturală poate integra temporalitatea fără a abandona inteligibilitatea.

Acest concept asigură de asemenea legătura logică esențială dintre cele două principii pe care Whitrow le pune la baza epistemologiei sale, uniformitatea și comunicabilitatea. „Clasicii” relativității recunosc fără îndoială cel puțin un invariant absolut, viteza luminii în vid, dar teoria relativității cinematice este cea care arată că această constanță poate fi considerată ca o convenție liber aleasă.

În cele din urmă, teoria relativității cinematice îi apare lui Whitrow ca sistemul care se apropia cel mai mult în epoca lui de idealul epistemologic pe care îl propunea el.

Ea pleacă de la conceptul abstract al unei monade care face experiența succesiunii ireversibile și este supusă legii de identitate. Evenimentele observate de monadă pot fi puse în corelație cu numerele, fie într-un mod continuu, fie într-un mod discontinuu. Numai primul mod, remarcă Whitrow, a fost explorat; dacă l-am examina pe cel de-al doilea, ar trebui să ne așteptăm la „rafinamente” cuantice. Corelația dintre cele două ceasuri este definită epistemologic prin analiza condițiilor necesare pentru congruența măsurătorilor. Astfel, conceptul de ceas fundamental poate fi definit într-un mod operatoriu fără un postulat ontologic asupra măsurării timpului. Pe de altă parte, relativitatea cinematică începe *în mod aritmetic*, ceea ce contrastează cu procedeele relativității generale, care, într-un mod mai clasic, urmărește să geometrizeze fizica.

În relativitatea cinematică, primul concept *geometric* introdus este cel de reversibilitate, care apare odată cu triada care constituie *echivalența*: „Pentru a da un conținut inițial conceptului de timp ireversibil, sînt suficienți doi observatori; la fel, sînt suficienți trei pentru conceptul fundamental de spațiu reversibil”. Cu acești trei observatori, relativitatea cinematică poate să enunțe o axiomă analoagă axiomei fundamentale a tuturor geometriilor metrice, aceea după care lungimea unui traseu este independentă de sensul măsurătorii.

Structura geometrică a sistemului (nu revenim asupra acestui lucru) rămîne totuși dependentă de alegerea scării timpului. Cît despre trecerea de la cinematică la dinamică, iată cum o înțelege Whitrow, care în această privință este mai explicit decît Milne: ea trebuie să fie efectuată, așa cum înțelesese și Painlevé, în așa fel încît legile de mișcare să poată fi deduse dintr-o axiomă de cauzalitate care răspunde la întrebarea „cum poate un sistem material să continue să existe de la o stare la alta?” Dar aceasta, contrar a ceea ce credea Painlevé, nu impune nici un alt postulat decît principiul identității și principiul rațiunii suficiente. Or, primul dintre acestea impune ca fiecare particulă masivă să fie atașată unui observator echivalent determinat, iar al doilea, ca particula masivă să fie în centrul de simetrie dinamică și să rămînă acolo, deoarece observatorul echivalent se află în centrul de simetrie cinematică. Aceasta conduce la distribuirea maselor în echivalență, care devine astfel un *substratum*, și la continuarea elementelor definite cinematic prin forma de echivalență. În ceea ce privește mișcarea particulei libere, ea poate fi definită pornind exclusiv de la caracteristicile *substratum*-ului. În scara τ , care, așa cum știm, este aceea care corespunde timpului din mecanica clasică, mișcarea este, cel puțin într-o anumită aproximație, rectilinie și uniformă în raport cu *substratum*-ul, care în această scară este static. Astfel este satisfăcut principiul lui Mach, iar legea inerției este fundamentată din punct de vedere epistemologic. Problema pusă își găsește un răspuns afirmativ: o dinamică elementară, apropiată de cea a lui Newton, a putut fi derivată de către Milne din axiome epistemologice, în același mod în care au fost derivate de către Helmholtz și Lie cele trei geometrii elementare ale căror axiome conferă spațiului o curbură constantă.

Aceasta este justificarea epistemologică, „transcendentală”, pe care Whitrow o dă relativității cinematice; am simplificat pe cît a fost posibil — și, sperăm, fără a-i trăda spiritul — o argumentație subtilă și pătrunzătoare, dar uneori complicată și chiar obscură. Mult mai riguroasă și mai convingătoare decît cea a lui Milne

însuși, această analiză ni se pare totuși că suscită rezerve în privința a două puncte principale. Mai întâi, în legătură cu principiul identității, nu se vede deloc clar cărui tip de entități analiza se poate aplica într-un mod convenabil din punct de vedere epistemologic. Într-adevăr, Whitrow spune că monada conștientă de scurgerea timpului trebuie să satisfacă acest principiu și, evident, acest lucru nu poate fi contestat, în primul rând pentru că conștiința timpului implică identitatea *ego*-ului, așa cum arătase Kant. El spune, mai mult, că orice particulă masivă trebuie să fie atașată, în virtutea axiomei identității, unui observator echivalent bine definit, ceea ce pare să implice nu numai faptul că monada satisface această axiomă, ci și faptul că numai ea o satisface. În aceste condiții, însă, particula liberă ale cărei caracteristici cinematice nu sînt, prin definiție, cele ale observatorilor fundamentali, încetează să mai aibă un statut epistemologic perfect definit sub raportul identității. Cea de-a doua rezervă ar fi următoarea: nici Whitrow, nici Milne nu dau pînă la urmă o *definiție* a masei (ceea ce li s-ar putea pretinde, pentru că, după programul lor, toate conceptele științei trebuie definite). Masa apare astfel ca o proprietate contingentă adăugată monadei și care aparține de drept particulei neindividualizate luate ca centru metric. Altfel spus, dacă *principiul* inerției, în calitate de relație cinematică extinsă la dinamică, este fundamentat din punct de vedere epistemologic, *faptul* inerției, adică prezența coeficientului de inerție în formule, care poate diferenția corpurile unele de altele într-un fel care nu este spațio-temporal, rămîne un fapt brut, ceea ce limitează domeniul reducerii epistemologice a dinamicii la cinematică. Dealtfel, poate că Milne și Whitrow nu ar fi avut nimic de pierdut dacă ar fi recunoscut cu mai multă sinceritate ceea ce în definitiv nu este decît faptul — sortit mai mult ca oricare altul să rămînă „brut” — materialității Universului, sau, în alți termeni, dacă ar fi recunoscut mai explicit faptul că nu se poate propune un model pentru Cosmos fără a introduce în acest model un concept, un principiu, un simbol destinat în mod special să exprime faptul că Universul este material. Se va spune că un lucru atît de evident nu are nevoie să fie exprimat. Dar, mai întâi, tehnicienii deducției ne-au învățat că, în această artă, nimic nu vine de la sine și, pe de altă parte, această recunoaștere explicită ar fi făcut să iasă mai bine în evidență acea remarcabilă originalitate a relativității cinematice în a discuta matematic despre *ego*, despre conștiința timpului pe care acesta o are, despre situația sa în spațiu, despre mișcarea sa

în raport cu un alt *ego înainte* de a face presupunerea existenței maselor și fără a lăsa materialității lumii, acțiunii unui *ego* asupra altuia, decât posibilitatea discretă a unui *semnal*.

III. Monadologie metafizică și monadologie matematică. Ego-ul și fizica

Whitrow a spus deci foarte bine că una din marile noutăți epistemologice ale relativității cinematice a fost aceea de a defini mai întâi Universul ca o comunitate de monade care comunică între ele, înainte de a-l defini ca un sistem material. Regăsim deci într-un fel monadologia lui Leibniz, plus comunicarea efectivă a monadelor, geometria modernă și conceptul de invarianță, care ne permit să transformăm o construcție metafizică în teorie matematică. Recitite în perspectiva relativității cinematice, anumite texte ale lui Leibniz și, mai ales, anumite detalii ale corespondenței sale cu Clarke, par să capete o înfățișare nouă.

De exemplu, în cel de-al treilea răspuns, Clarke îi obiectează lui Leibniz că, în ipoteza timpului și spațiului relativ, Dumnezeu ar fi putut să creeze lumea cu milioane de ani mai înainte și să o extindă în linie dreaptă fără ca ceva să se fi schimbat, ceea ce Clarke găsește absurd. El adaugă : „În plus, timpul și spațiul sînt cantități, ceea ce nu se poate spune despre ordine și situație”¹.

Or, dacă în cea de-a patra scriere Leibniz răspunde parcă în glumă la prima obiecție a lui Clarke, despre ultima dintre ele nu spune nimic². Este oare vorba de o simplă nebăgare de seamă, de o neglijență, sau tăcerea lui Leibniz este semnul unei reale încurcături? În cel de-al patrulea răspuns, Clarke revine : „Nu a primit răspuns nici argumentul că spațiul și timpul sînt cantități, ceea ce nu se poate spune despre ordine și situație”³. De data aceasta Leibniz răspunde, dar răspunsul nu pare prea convingător : „Cît despre această obiecție, că spațiul și timpul sînt cantități, sau mai curînd lucruri dotate cu cantitate, și că ordinea și situația nu sînt deloc așa, răspund că ordinea are de asemenea o cantitate, este vorba de ceea ce precede și de ceea ce urmează, de distanță și de interval”. Și pentru a dovedi că lucrurile relative „au cantitatea lor”, Leibniz remarcă faptul că „rapoartele și proporțiile” sînt măsurate prin logaritmi⁴.

¹ *Correspondance Leibnitz-Clarke*, ed. Robinet, P.U.F., 1957, p. 69.

² *Ibid.*, pp. 87—88.

³ *Ibid.*, p. 111.

⁴ *Correspondance Leibnitz-Clarke*, op. cit., p. 150.

Dar aceste răspunsuri ocolesc adevărata problemă ridicată de obiecția lui Clarke și căreia este probabil imposibil să i se răspundă în mod satisfăcător fără concepte tehnice mai elaborate decât cele de care dispunea Leibniz, care totuși a fost primul care a întrevăzut posibilitatea unei geometrii topologice. Căci nici Leibniz, nici Clarke nu puneau în discuție unicitatea geometriei; or, dacă axiomele euclidiene sînt considerate reprezentative pentru natura spațiului, măsura mărimilor spațiale, lungimea, aria, volumul și, prin analogie, intervalul de timp, exprimă un absolut. Cum să se pună de acum înainte geometria în acord cu conceptul relativist sau „cripto-relativist” de spațiu ca relație topologică între monade și de moment ca delimitare între evenimente percepute de o aceeași monadă? Cum să se înțeleagă, pe de altă parte, fără ajutorul matematicii moderne, că o mulțime de puncte de vedere, deci de puncte, poate să aibă o măsură?

Dar, pentru a folosi expresiile lui Whitrow, în scurta obiecție a lui Clarke care l-a încurcat atît de mult pe Leibniz, se impune cu toată forța concepția geometrică și „parmenidiană” a Universului, împotriva căreia teza relativistă a lui Leibniz nu se poate complet afirma, pentru că domnia lui Euclid nu era încă încheiată.

Teoria relativității cinematice putea acum realiza ceea ce nu fusese posibil pentru Leibniz. Căci spațiul nu este constituit cantitativ — geometrii au descoperit în cele din urmă acest fapt — decât relativ la axiome metrice care se pot stabili în mod convențional. Pe de altă parte, dacă se admite, odată cu Milne, că perceperea timpului este topologică înainte de a fi metrică, timpul-cantitate va fi la rîndul său constituit în raport cu anumite convenții. Măsura se constituie în spațiul și timpul propriu monadelor. Urzeala Universului este mai întîi ordine și situație, dar poate deveni cantitate prin acordul între monade, în așa fel încît relativitatea punctelor de vedere să poată fi depășită fără a fi suprimată. Obiecția lui Clarke încetează atunci să mai conteze, în pofida relativismului spațiului și timpului.

Dacă ne-am oprit atît de mult asupra acestui detaliu aparent secundar al corespondenței dintre Leibniz și Clarke, este pentru că odată cu teoria relativității restrînse, cu principiul de covarianță al teoriei relativității generalizate și, în sfîrșit, cu conceptul de echivalență al relativității cinematice, știința contemporană reînnoadă un fir al gîndirii leibniziene pe care cei mai iluștri succesori ai lui Leibniz nu îl reluaseră. Este demn de remarcat mai ales faptul că pluralitatea *ego*-urilor nu face obiectul nici unei încercări de analiză transcendentă din partea lui Kant, cel puțin în domeniul gîndirii speculative. Totuși, în ceea ce privește posi-

bilitatea experienței (și nu numai realitatea sa), răspîndirea *subiecților* empirici în spațiu nu are poate consecințe mai mici decît răspîndirea în timp a reprezentărilor *subiectului* empiric. Ea impune poate concepte tot atît de îngrijit și riguros definite ca și categoriile a căror stabilire rezultă cu necesitate din situația gîndirii umane în raport cu timpul. Dar totul se petrece ca și cum Kant ar considera că consensul dintre *ego-uri* ar ține exclusiv de logica formală și ca și cum răspîndirea în spațiu a comunității monadelor gînditoare nu ar fi suficientă pentru a face din acest consens o problemă care interesează logica transcendentă. În domeniul filozofiei practice, după cum se știe, situația nu este exact aceeași, pentru că, de exemplu, conceptul de *drept* este definit pornind de la pluralitatea subiecților liberi și pentru că ideea domniei scopurilor definește un fel de model transcendent al comunității empirice a oamenilor. Dar subiecții-scopuri se definesc în perspectiva rațiunii și nu în cea a intelectului, și nu este deloc necesar ca membrii domniei scopurilor să fie^m concepuți ca locuind în spațiu.

Or, explorarea consecințelor ultime ale faptului — sau ale axiomei — că lumina se transmite cu viteză finită, a condus în cele din urmă știința la analizarea unei probleme pe care Kant o neglijase și la regăsirea în acest fel a acelui fir pierdut al gîndirii leibniziene. Ea nu a făcut-o fără ezitare și fără rezerve. Științei îi place să înlăture, în descrierea obiectelor sale, orice subiectivitate, fie ea transcendentă. Nici intersubiectivitatea nu a fost primită cu mai mult entuziasm în teoria fizică și rezerva cu care a fost întîmpinat la început Einstein a putut face să se creadă că știința modernă îi dădea cîștig de cauză lui Clarke împotriva lui Leibniz. Intersubiectivitatea a sfîrșit totuși prin a intra în fizica teoretică, implicit odată cu relativitatea restrînsă și explicit în teoria relativității generalizate sub forma principiului covarianței, pe care îl putem numi pe drept cuvînt transcendent în sensul lui Kant, pentru că Einstein îl propune nu ca expresia unei proprietăți a Universului în sine (*an sich*), ci ca pe un postulat al teoriei fizice. În ipoteza Universului „în sine”, chiar enunțul său ar fi lipsit de sens; covarianța ar rezulta de la sine, așa cum susține dealtfel Fock, ca materialist consecvent¹. Enunțul principiului de covarianță nu este neapărat necesar decît în măsura în care lumea fizică poate fi caracterizată ca un ansamblu de înfățișări metrice diferite, fiecare relativă la un subiect situat în timp și în spațiu,

¹ V. A. FOCK, *Le Système de Ptolémée et le système de Copernic*, în *Questions scientifiques*, Ed. de la Nouvelle Critique, Paris, 1952, p. 151.

fără a fi posibilă o cunoaștere directă și imediată a ceea ce stă la baza acestor înfățișări. Pe de altă parte, principiul covarianței nu poate fi considerat empiric, pentru că el definește o regulă și determină, dacă nu conținutul legilor (aceasta este valabil cel puțin pentru gândirea relativistă „ortodoxă”), cel puțin forma lor (tensorială). Aceasta este deci o lege transcendentă a intersubiectivității, de unde neîncrederea pe care o inspiră anumitor oameni de știință, foarte atașați de „realismul transcendentă”. Totuși, un fizician atât de „ortodox” ca Tolman, chiar dacă consideră că principiul covarianței nu impune nici o restricție asupra naturii legilor, recunoaște că principiul are, de fapt, un rol determinant în alegerea axiomelor teoriei fizice, pentru că el orientează alegerea în sensul celor mai simple enunțuri, simple nu raportate la anumite sisteme de referință, ci prin expresia lor covariantă, ceea ce nu este întotdeauna același lucru¹. Dar Milne merge mult mai departe. Unul din punctele în care el se desparte de cosmologia relativistă „ortodoxă” este tocmai, așa cum am mai spus, necesitatea unei deducții cosmologice univoce, adică, de fapt, în întregime determinată de condițiile transcendentale ale intersubiectivității raționale. Am văzut că aceasta îl conduce la ideea leibniziană că Universul trebuie să fie descris ca o multiplicitate de *ego-uri* mai înainte de a fi descris ca un sistem material.

Pe scurt, cu o anumită reținere la Einstein și la relativiștii „clasici”, mai ales la Milne și Whitrow, în teoriile fizice relativiste o axiomatică a intersubiectivității a devenit inseparabilă de expresia matematică a structurii realității fizice. Consensul monadelor în Univers nu mai este de la sine înțeles, nu este garantat într-o măsură suficientă de acordul spiritelor asupra principiilor logice (pentru că acordul spiritelor în privința proprietăților, chiar și a celor metrice, deci „obiective”, ale obiectelor fizice, impune să se țină seama de așezarea lor spațio-temporală); el nu mai este garantat cu necesitate nici de existența „în sine” a proprietăților raționale ale Universului fizic.

În fața acestei intervenții a intersubiectivității în teoria fizică, ești foarte tentat să stabilești un anumit paralelism între această evoluție pe care știința, pînă la Milne, a suferit-o poate mai curînd decît a dorit-o, și întregul efort al filozofiei moderne pentru lărgirea, oarecum lateral, a relației subiectului cu obiectul, a eului cu lumea și pentru situarea raporturilor dintre „euri” la nivelul struc-

¹ R.C. TOLMAN, *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, Clarendon Press, Oxford, 1934, p. 167.

turilor fundamentale ale ființei și nu la acela al relațiilor empirice și al interacțiunilor naturale.

Se va spune că un astfel de paralelism este cu necesitate artificial și că Bergson, cu toate că de aici a scos argumente puțin convingătoare în favoarea simultaneității absolute, nu greșea atunci când spunea că „observatorii relativști” din teoria fizică nu au mare lucru în comun cu fizicianul „real și viu”, care îi introduce în reprezentarea sa despre lume. Dealtfel, interlocutorii săi relativști erau în această privință dispuși să facă o serie de concesii. A. Metz, într-o notă din 1924, remarcă de exemplu faptul că observatorii teoretici puteau fi înlocuiți cu instrumente de înregistrare; același autor insistă, într-un articol recent asupra necesității de a evita orice confuzie între acest observator teoretic — simplu sistem de coordonate — și fizicianul concret¹. Aici Metz nu este prea departe de concesiia finală care i-ar da dreptate lui Bergson și care ar consta din a spune că observatorul din teorie nu este numit astfel decât printr-un fel de abuz de limbaj sau de ficțiune matematică. Am fi atunci în drept, așa cum o face Bergson, să opunem absolutul unei simultaneități *reale*, trăită de ființe vii și gânditoare, dislocării „simbolice” a simultaneității, care nu ar avea sens decât în raport cu umbrele unor observatori instalați simbolic în Univers de către un observator, singurul real. Or, în lumina relativității cinematice, ni se pare că aici — mai mult decât în câteva paralogisme regretabile — se situează adevărata lipsă de înțelegere a lui Bergson față de sensul gândirii relativiste. Cu toate că ia forma inevitabil abstractă și schematică a tuturor obiectelor care intră într-o teorie fizică, intersubiectivitatea relativistă nu este fictivă, căci privilegiul acordat unui observator asupra celorlalți nu este decât aparent și acest observator, ales pentru comoditatea calculului sau impus de condițiile observației sau ale experienței, nu este nici mai mult nici mai puțin „real” decât ceilalți.

Trebuie să ne ferim aici de iluzia foarte firească pe care filozofii o suscită prin toate mijloacele iar fizicienii nu fac nimic pentru a o risipi, după care gândirea fizicianului nu s-ar referi decât la entități schematizate, în timp ce în discursurile filozofului entitățile ar intra „în persoană”. Un concept nu este niciodată identic cu ceea ce reprezintă, iar un discurs, la fel ca și un calcul, nu poate fi confundat cu obiectele la care se referă. *Ego*-ul de care vorbește filozoful este întotdeauna un *ego* în sensul filozofului, un εἶδος

¹ A. METZ, *Bergson, Einstein et les relativistes*, în *Archives de Philosophie*, iulie-sept., 1959.

al *ego*-ului. Fizicianul „real și viu” al lui Bergson nu este decît încă un mod de exprimare, căci autenticul fizician viu, cu bluza sa albă sau gri, cu amintirile sale de vacanță și cu necesitățile sale materiale, angajat în această cercetare, cu această idee confuză care mîine va deveni genială sau va reintra în neant, acesta care citește la acest aparat, în această zi ploioasă, rezultatul acestei măsurători, acesta scapă oricărei fenomenologii ca și oricărei puneri în ecuație. Fizicianul „real și viu” din *Durée et Simultanéité* este după Bergson o conștiință fluentă și vie, care nu își capătă sensul decît în raport cu discursul lui Bergson. Nimeni nu s-ar fi îndoit, înainte de Milne, că el este mai ales un ceas, dar cine ar fi observat, înainte de Bergson, că el era o masă vie de amintiri, avînd forma unui con?...

Din faptul că urmărește să surprindă formele cele mai directe și cele mai imediate ale experienței, filozofia contemporană trage concluzia că conceptele sale sînt o reprezentare lipsită de distanță, naivă, lipsită de ipoteză, de simbol, deloc aluzivă, dar intuitivă a „realului”, a „concretului”, a „imediatului”, a „existentului”. Această pretenție este evidentă la Bergson, mai ales în *Durée et Simultanéité*, unde certitudinea timpului real și unic este deseori prezentată ca imediată, la îndemînă¹. Acestei opinii este foarte ispitor să-i opui stilul simbolic și abstract atît de caracteristic limbajului științific.

Dar trebuie să ținem seama că și filozofia, inclusiv filozofia concretului, practică abstracția, simbolul, ipoteza și că ea elaborează faptul empiric brut la care se referă cercetarea sa. Relația dintre știință și filozofie este identică aceleia dintre un discurs asupra realului și un alt discurs asupra realului, și nu dintre un discurs asupra realului și realul „însuși”.

Aceste remarci nu urmăresc desigur să șteargă și nici măcar să atenueze deosebirea dintre stilul discursului filozofic și cel al discursului științific. Ele tind numai să facă să se admită faptul că, atunci cînd observatorul sau *ego*-ul intră în teoria fizică, ei nu își pierd în mod necesar — sub pretextul că o conștiință este ceva viu — tot ceea ce face ca un observator să fie un observator și un *ego*, un *ego*. Bergson pare să considere ca evident faptul că, atunci cînd fizicianul introduce alți observatori în reprezentarea sa despre lume, aceștia nu pot fi decît ființe virtuale, imaginare, „fantasmagorice”. Sau, așa cum spune tot el, într-un mod foarte fericit, atunci cînd un fizician plasează un observator în Univers, acesta nu poate fi decît un observator „la care se face o referire”,

¹ H. BERGSON, *Durée et Simultanéité*, Félix Alcan, Paris, 1922, pp. 55—56.

și nu unul „care referă”¹. Dar există aici un fel de revers, căci fizicianul real nu este propriu-zis nicăieri. El se poate înlocui pe sine foarte bine, oriunde, printr-un instrument de măsură, iar aparatul automat care îl suplinește pe observator în una sau alta din operațiile sale nu reprezintă nici mai mult nici mai puțin un *ego* decât atomul care, în fotosfera companionului lui Sirius sau a unei alte stele hiperdense, reprezintă observatorul relativist al cărui ceas întârzie față de ceasul terestru datorită plasării sale într-un câmp gravitațional intens. Toți observatorii relativști sînt deci în același timp „referiți” și „referenți”. Nici unul nu este „viu și conștient” în sensul lui Bergson, dar totuși toți sînt *ego*-uri, în măsura în care fiecare corespunde unui centru de perspectivă și unor unități de măsură, căci este imposibil să se dea un sens într-un mod riguros obiectiv unor concepte ca coordonatele, măsura, metrul sau ceasul. Un ceas nu este un om, dar nici un obiect nu se constituie ca ceas fără un *ego* „de referință” care măsoară timpul. Pămîntul, pe de o parte, și atomul din fotosfera stelei, pe de altă parte, sînt și unul și altul ceasuri dacă și numai dacă există undeva un observator care să-i considere pe unul sau pe celălalt, sau pe ambii ca ceasuri. Dar, va răspunde aici bergsonianul, un același observator citește de fapt ceasul terestru și ceasul stelar, iar acest observator se află pe Pămînt. Există deci un ceas obișnuit și un altul care nu este, un ceas concret și un ceas abstract, un ceas real și un ceas simbolic. Este adevărat, dar întreg efortul gîndirii relativiste tinde, cu toată relativitatea spațiului și timpului, tocmai să diminueze importanța faptului că un ceas este sau nu obișnuit și a faptului că ora se citește întotdeauna pe un anumit ceas.

Căci pentru a măsura ceva, și Bergson insistă pe bună dreptate asupra acestui lucru, trebuie să alegem bine coordonatele și o unitate de măsură, deci să privilegiem un fizician, să facem dintr-un *ego* adevăratul „centru de referință”. Dar tocmai aici se află problema și soluția relativistă; trebuie procedat astfel încît alegerea inevitabilă a unui sistem de referință, adică imposibilitatea, pentru fizician, de a se identifica cu un „supraobservator”, așa cum spune Eddington, avînd o conștiință cosmică, să nu împiedice satisfacerea exigenței raționale de obiectivitate. Singurul mijloc pentru aceasta este de a înțelege obiectivitatea ca o transpunere reglementată a măsurătorilor unui *ego* la cele ale altuia, ceea ce, în definitiv, conduce la constituirea Universului ca o pluralitate de monade. Lumea este întotdeauna lumea văzută de către o

¹ H. BERGSON, *op. cit.*, p. 111.

monadă, dar ceea ce deosebește Universul de un vis este faptul că viziunile monadelor, care sînt în mod necesar diferite, pot să se potrivească și să se deducă unele din altele. Sîntem departe de situația în care observatorii cu care un observator anumit populează Universul sînt fantome; dimpotrivă, ei sînt aceia care împiedică Universul să fie fantomatic.

În teoriile relativiste „ortodoxe”, toate acestea nu sînt încă decît implicite și mai mult sau mai puțin ascunse. Dacă sensul și valoarea tehnică a noțiunii de invarianță sînt de mult timp binecunoscute, în schimb semnificația ei filozofică nu a fost poate pe deplin explicitată decît odată cu relativitatea cinematică. Cînd observăm acest lucru, nu putem să nu ne gîndim că, cu toate deosebirile dintre matematica intersubiectivității și fenomenologia intersubiectivității, nu este o circumstanță întîmplătoare și lipsită de importanță faptul că filozofia și teoria fizică au fost conduse, independent, la descoperirea și analizarea aceleiași structuri fundamentale: multiplicitatea *ego*-urilor, separate și în același timp unite prin răspîndirea lor temporală și spațială, prin existența-situată și existența-raportată, astfel că fiecare se simte ca cel la care se referă celelalte și ca cel care le situează.

S-ar putea pune problema dacă filozofia lui Milne, în măsura în care ea comportă pe de o parte, cel puțin implicit, o teorie a intersubiectivității și în măsura în care, pe de alta, pretinde că se bazează pe o reprezentare rațională a relației lui Dumnezeu cu lumea, nu ascunde cumva o contradicție de netrecut. Într-adevăr, definiția *ego*-urilor și a Universului ca comunitate de *ego*-uri ar putea foarte bine să se situeze dincolo de orice cosmo-teologie posibilă. Aceasta este o idee hipercritică, care dizolvă mai sigur decît antinomilele ideea totalității fenomenelor ca Univers al lucrurilor în sine. Dar, dacă este așa, cum se poate concepe ca un Dumnezeu care transcende lumea să o poată gîndi rațional? I-ar trebui o cinematică fără coordonate și o geometrie fără axiome și fără operații. Dar care ar putea fi atunci obiectul unei științe absolute a spațiului? În măsura în care geometria rămîne știința unei esențe eterne a spațiului, în care simultaneitatea este de drept în Univers, în care există un moment cosmic care se reconduce pe sine indefinit — sau, așa cum vrea Bergson, o durată concretă care se întinde din aproape în aproape la totalitatea Cosmosului — omniștiința lui Dumnezeu poate rezuma și înlocui privirile parțiale ale monadelor, suprimîndu-le. Teoria Universului poate tinde să depășească orice punct de vedere și să prezinte Universul *sub specie aeternitatis*. Dar, bine înțeleasă, intersubiectivitatea relativistă exclude posibilitatea de a da o reprezen-

tare despre lume care să nu fie cea a unei monade situată în timp și în spațiu. Teoria fizică nu este reprezentarea Universului așa cum este el, ci descrierea procedeele prin care monadele care îl populează pot să-și pună de acord măsurătorile. Cel puțin aceasta este în primul rând, dacă se acceptă că ea trebuie să urmeze programul definit de Milne și Whitrow. În acest caz însă, relația Universului cu o înțelegere divină, adică o înțelegere care nu este cea a unei monade situate, devine greu inteligibilă și această viziune a lumii exclude poate, de fapt, orice teologie rațională, mai mult chiar decât „materia necreată” a materialismului.

Dealtfel, în răspunsul său la atacurile lui Dingle împotriva „cosmolatriei” moderne¹, însuși Whitrow dă o lovitură destul de serioasă concepțiilor teologice ale lui Milne. Una din cele trei reguli fundamentale ale cercetării științifice de la Copernic încoace, remarcă foarte potrivit Whitrow, a fost eliminarea progresivă a oricăror concepte antropocentrice. Această regulă și-a găsit o aplicație, în particular, în principiul relativității, despre care „se poate spune în termeni generali că semnifică autonomia punctelor de vedere individuale în descrierea naturii”. Consideră oare Whitrow că această autonomie este compatibilă cu dominația și superviziunea înțelegerii divine asupra sistemului cosmic, cu teleologia principiului rațiunii suficiente, așa cum o concepe Milne?

IV. Măsurarea timpului ca primă operațiune metrică

Ceea ce constituie în definitiv principala originalitate a teoriei relativității cinematice este încercarea de a baza descrierea științifică, adică metrică, a Universului pe măsurarea timpului. Există aici un fel de paradox : simțul comun și știința au fost întotdeauna de acord, cel puțin implicit, cu faptul că operația metrică cea mai simplă este măsurarea unei lungimi și că aceasta constă în a face să coincidă extremitățile unei lungimi etalon cu cele ale lungimii de măsurat. Nu întâmplător, în Franța cuvântul metru a fost ales pentru a desemna unitatea de lungime promovată astfel în mod natural la rangul de unitate fundamentală. Desigur, în ideea că măsurarea unei lungimi este o operație simplă și indiscutabilă există multe convenții implicite, dar legitimitatea lor este totuși mai puțin problematică decât axiomele indispensabile folosirii unui ceas.

¹ H. DINGLE, *Modern Aristotelianism*, Nature, 139, 1937, p. 784. Răspunsul lui Whitrow, *ibid.*, p. 1008.

Însăși posibilitatea unei autentice măsurări a timpului a fost pusă în discuție, cu mult timp în urmă, de sfântul Augustin, iar filozofii moderni au revenit la această critică, în special Bergson și, mai indirect, Whitehead. Acești autori nu contestă faptul că există ceasuri, nici că citirea ceasurilor are un sens; ei vor mai curînd să arate că în temporalitate, în „durată” după limbajul lui Bergson, în „trecere” după limbajul lui Whitehead, există ceva care scapă cu necesitate măsurării. Timpul măsurat este deci fie un aspect selecționat al temporalității, fie un produs artificial, obținut pentru nevoile analizei intelectuale, prin asimilare cu proprietăți care aparțin ontologic nu timpului, ci spațiului. Cauza ar fi aceea că temporalitatea depășește natura și aparține în același timp, poate în mod mai esențial, spiritului. Operațiunile metrice, care se efectuează asupra lumii fizice, nu pot atinge timpul însuși. Departe de a putea pune la baza metrologiei măsurarea timpului, incertitudinea care însoțește inevitabil această operație ar revela limitele dincolo de care „inteligența” sau „gîndirea”, cu metodele lor cantitative și exigențele lor de exactitate, nu pot trece: temporalitatea le scapă în parte.

Or, Milne nu ignora deloc această filozofie și într-un anumit fel i se alătură. Nu am găsit în operele sale nici o referire la Bergson, dar el cunoaște obiecția sfântului Augustin — pe care adversarii săi i-au reamintit-o dealtfel — și este atît de pus în gardă de analizele lui Whitehead, încît se sprijină pe autoritatea acestui filozof atunci cînd este vorba de a legitima procesul de abstractizare și de trecere la limită care permite să se atingă evenimentul instantaneu plecînd de la ceea ce Whitehead numește *duration*, adică prezentul perceput efectiv și care are întotdeauna o anumită întindere în timp.

Cu alte cuvinte, Milne nu considera că obiecțiile împotriva unei veritabile măsurări a timpului ar fi suficiente pentru a-l opri din acțiunea sa. În primul rînd, el este mai sensibil la idealismul augustinian, căruia consideră că îi face concesii convenabile, decît la empirismul metafizic al lui Whitehead, care rămîne profund incompatibil cu metoda raționalistă a lui Milne. Cum poate fi împăcată pretenția sa de a pătrunde în universul experienței pornind de la un model matematic, cu ciudatele deschideri asupra necunoscutului pe care le găsim la Whitehead, în legătură cu „familiile de durate”, adică, aproximativ, în legătură cu grupările posibile ale diverselor evenimente într-un același prezent¹?

¹ „Este imposibil să meditezi asupra timpului și asupra misterului trecerii crea-
toare a naturii fără a fi copleșit de emoție la gîndul limitelor inteligenței umane”
(A. N. WHITEHEAD, *The Concept of Nature*, Cambridge U.P., 1920, p. 73).

Odată eliminată această deschidere — pe care Milne nici nu pare să o ia în considerație — către o experiență a timpului care s-ar situa dincolo de orice posibilitate, nu numai metrică, dar chiar și analitică, se poate admite că, în perspectiva lui Milne, obiecțiile împotriva măsurării timpului — și în consecință împotriva posibilității de a pune aceasta la baza tuturor operațiunilor metrice — rezultă dintr-un fel de neînțelegere : obiecțiile ar fi valabile în măsura în care ar viza o pretinsă experiență directă a „timpului uniform”. Aceasta este ceea ce vizează în orice caz obiecția sfântului Augustin : compararea directă a două intervale de timp este imposibilă. Astfel, de exemplu, afirmația că intervalele de timp care separă două treceri succesive oarecare ale aceleiași stele la meridianul unui loc (sau ale Pământului la periheliul său) sînt egale nu este nici enunțul unui fapt, nici o presupunere care s-ar putea verifica, ci o axiomă. Dar aceasta nu împiedică să se pună la baza măsurării timpului o experiență mai imediată și mai primordială decît orice altă operație metrică : este suficient să facem distincția între experiența imediată a timpului, care este cea a unei relații care poate fi stabilită intuitiv între două elemente percepute, și determinarea unei scări metrice, care depinde de axiome al căror enunț presupune intersubiectivitate. Milne se străduiește deci să înlăture neînțelegerea și crede că a reușit tocmai în acest mod și fără îndoială acesta este motivul pentru care obiecția sfântului Augustin nu-l deranjează, iar citirea lui Whitehead nu-l tulbură. Retrospectiv, metoda sa scoate în evidență limitele analizei lui Bergson. Atașat cu încăpăținare ideii că durata trăită este indivizibilă (principiu contrazis de altfel de experiența cea mai familiară, pentru că fulgerarea, evenimentul, surpriza, începutul și sfîrșitul, care fac desigur parte din experiența trăită a timpului, apar ca discontinuitate și ruptură), atașat acestui principiu al duratei indivizibile în întinderea sa concentrată, lui Bergson îi lipsește distincția între metrica și topologia timpului, între conștiința relației înainte-după și măsurarea intervalului.

Faptul că Milne, aparent fără s-o știe, l-a contrazis pe Bergson în punctul cel mai slab al descrierilor sale nu este totuși suficient pentru a dovedi că el a avut dreptate să pretindă că poate baza toate operațiile metrice pe măsurarea timpului.

Cu siguranță, acesta este punctul cel mai important, dar totodată și cel mai dificil, în legătură cu care se poate aprecia valoarea conceptelor relativității cinematice. Milne, care nu a dus niciodată lipsă de critici, a fost criticat printre alții și de Dingle, care afirmă că dat fiind modul în care el abordează pro-

blema fundamentării metrologiei „nu poate să reușească”¹. Principala obiecție a lui Dingle (a cărui intenție este, dealtfel, nu de a-l critica pe Milne, ci de a apăra propria sa concepție asupra măsurării timpului) este următoarea: cu toate că Milne pretinde a construi plecând de la citiri directe ale timpului cele două funcții „epocă-distanță” și „mersul-ceasurilor”, teoria sa nu furnizează posibilitatea efectuării unei adevărate măsurători a mărimilor cinematice. Într-adevăr, ea nu permite o distincție strictă între mișcarea relativă și repausul relativ, distincție pe care totuși experiența o impune. Să părăsim pentru moment critica lui Dingle pentru a ne opri puțin asupra acestui punct. Este adevărat că în această privință există, în teoria lui Milne, ceva ciudat. Pentru a relua un exemplu folosit în alte scopuri în discuțiile mai vechi asupra relativității, dacă un automobil se ciocnește de un pom, se poate oare găsi un sistem de coordonate și o definiție a fenomenelor fizice care să permită să se înțeleagă ceea ce s-a întâmplat, presupunând în același timp că pomul și automobilul au fost tot timpul în repaus relativ? Valoarea acestei obiecții este însă nulă, pentru că scările de timp nu sînt definite decît în raport cu observatorii fundamentali ai *substratum*-ului, care formează cadrul de referință al Universului, dar nu-i epuizează conținutul. Numai mișcările relative ale acestor observatori sînt susceptibile să se transforme în repaus relativ printr-o reetalonare convenabilă a ceasurilor. Ne putem atunci întreba: ce s-ar întâmpla dacă funcția generatoare a echivalenței ar face să apară o mișcare de contracție a *substratum*-ului, astfel încît observatorii să pară că se apropie? Ce s-ar întâmpla în momentul în care aceștia s-ar ciocni? Milne amintește această obiecție pe care o consideră frivolă (*frivolous*)². Într-adevăr, din definiția observatorilor echivalenți rezultă că, dacă doi dintre ei coincid, coincid toți. Ciocnirea finală nu poate fi deci decît un eveniment unic, o singularitate, un „sfîrșit al lumii”, care ar scăpa oricărei descrieri, exact ca și creația în echivalența t . Dealtfel, echivalența t , singura care prezintă un oarecare interes pentru înțelegerea Universului real, este de fapt un sistem în expansiune și reetalonarea de la t la τ nu prezintă nici un inconvenient de acest gen.

Să revenim la Dingle, a cărui analiză este bazată pe următoarea precizare: o măsurare a timpului, spre deosebire de oricare alta, se referă la mulțimi de elemente care sînt *în mod necesar*

¹ H. DINGLE, *The Function of Time Measurement In Modern Physics*, op. cit. Comptes rendus du Symposium de Bruxelles, 1947.

² *Kinematic Relativity*, op. cit., p. 225.

nesimultane. Există însă două feluri de elemente care corespund acestei condiții :

1. Evenimente simple, care nu au nici o altă proprietate decât aceea de a aparține unei secvențe temporale, de exemplu tic-tac-urile succesive ale ceasului.

2. Evenimente care pot fi deosebite luând în considerație o altă mărime, așa cum sînt, *între altele*, pozițiile succesive ale unui mobil. După Dingle, eroarea lui Milne rezidă în pretenția de a fundamenta măsurarea timpului pe reperarea unor evenimente care fac parte exclusiv din prima categorie. În ceea ce-l privește, Dingle consideră că este imposibil, că trebuie să se facă apel la serii de evenimente care să aparțină celei de-a doua categorii, fără ca aceste evenimente să fie totuși neapărat reperabile sub raport spațial. Dingle afirmă că poate propune un sistem de măsurare a timpului în care lucrurile nu s-ar petrece astfel.

Obiecția lui Dingle ni se pare interesantă în măsura în care pune implicit o problemă mai generală : dacă putem regăsi obiectivitatea metrică reducînd experiența pe care monada o are despre realitate la aspectul ei cel mai subiectiv. Evenimentele din prima categorie a lui Dingle se reduc la impresii încercate și distinse de către *ego* numai sub raportul succesiunii, ceea ce le privează de orice subiectivitate.

Aici ni se pare că se află adevărata problemă. Poate fi măsurarea timpului constituită și, cu atît mai mult, poate ea servi drept bază altor operațiuni metrice, fără referire la vreo regularitate obiectivă, stabilită explicit? Altfel spus, putem măsura timpul fără a presupune o ordine a lumii la care să ne acordăm instrumentele? A o contesta ar însemna evident a arunca o îndoială serioasă asupra valorii metodei lui Milne. Or, la o privire mai atentă, ne putem într-adevăr întreba dacă Milne nu introduce, încă de la început, unele postulate fără de care axiomatica sa ar fi lipsită de semnificație.

În acest punct, discuția devine delicată : *ego*-ul de care este vorba în teorie nu este o persoană concretă, el nu poate fi identificat cu „eul” așa cum îl înțelege psihologia, tot așa cum *substratum*-ul nu poate fi identificat cu Universul real. Din însăși mărturisirea lui Milne, rezultă că descrierea pe care el a dat-o operației fundamentale prin care monada stabilește între două evenimente relația înainte-după este o „simplificare excesivă” a modului în care un observator real capătă conștiința efectivă a timpului. Dar pe drept cuvînt Milne invocă precedente foarte onorabile, ca punctele geometriei și „particulele” fizicii.

Pe de altă parte, este desigur firesc ca, atunci când vorbește de *ego*, de trecerea timpului, de relația înainte-după, de punct-eveniment, concepte care nu pot fi definite, Milne să facă aluzie la vreun domeniu suficient de bine cunoscut al experienței pentru ca toată lumea să se poată pune de acord asupra lui. Acesta este domeniul care se referă la temporalitate. Chiar limitându-l la conștiința prezentului luat așa cum este, acesta este un câmp de fenomene extrem de bogat și de complex; în interiorul lui, Milne operează o selecție. Dar problema este următoarea: ceea ce reține el explicit nu este oare prea sărac pentru a rezulta de aici tot ceea ce pretinde el?

Ego-ul, spune el, stabilește o relație înainte-după între evenimente și obține astfel o mulțime continuă de evenimente pe care o poate pune în mod arbitrar în corespondență cu numerele reale. Pentru ca acest lucru să poată fi posibil, trebuie să se obțină, pornind de la experiența concretă a prezentului, evenimentul punctual. Or, aceasta presupune de fapt două operații de abstractizare, iar Milne nu are în vedere în mod explicit decât una, prima dintre ele: prezentul are o anumită întindere a duratei, evenimentele prezente se încăleacă unele pe altele, iar prezentul punctual se obține prin întrepătrunderea unor prezenturi din ce în ce mai mici, la limită. Această operație a fost descrisă cu meticulozitate de către Whitehead, pentru care ea asigură legătura între simultaneitatea cu „grosime” din punct de vedere temporal, aparținând „naturii” și care se dezvăluie în percepția sensibilă (*sense awareness*), și momentul lipsit de întindere, produs al analizei, care răspunde exigenței de exactitate caracteristică gândirii (*thought*). Dar, la Milne, această primă operație de abstractizare ascunde o a doua operație, care constă din separarea unui eveniment singular din totalitatea infinit variată care formează conținutul prezentului pentru o conștiință, atât de concentrată încât durata acestui prezent poate fi imaginată. În aluzia făcută de Milne la adresa procesului de abstractizare descris de Whitehead există un oarecare echivoc. Într-adevăr, atunci când acest filozof vorbește de *duration*, el nu înțelege prin aceasta o serie temporală de evenimente separate, căci termenul *duration* se definește „printr-un anumit tot al naturii care nu este limitat decât de proprietatea de a fi o simultaneitate”, acest ultim cuvânt neavând sensul riguros pe care i-l dă știința, ci sensul mai larg de prezent. Aceasta, spune Whitehead, este „o felie a naturii, limitată de simultaneitate, care este un factor esențial dezvăluit în percepția sensibilă”¹.

¹ A. N. WHITEHEAD, *The Concept of Nature*, op. cit., p. 53.

Or, dacă momentul obținut prin abstractizare, prin întrepătrunderea unele în celelalte a unor prezenturi din ce în ce mai puțin întinse din punct de vedere temporal, devine lipsit de grosime, el nu își pierde totuși total aspectul de prezent. În prezentul trăit, chiar transformat în moment, totalitatea naturii este dată cel puțin în mod ideal. Acest ideal al întregii naturi la un moment dat este, desigur, idealul unei non-realități (*non-entity*), dar important pentru noi este că momentul, definit de Whitehead pornind de la prezentul percepției sensibile, rămâne total și nu implică diferențierea realității observate.

Dar cum trebuie oare să-l înțelegem pe Milne atunci când vorbește de corelația pe care un observator o poate stabili între continuum-ul evenimentelor, pe de o parte, și mulțimea numerelor reale, pe de alta, prin interpolarea între două evenimente efectiv observate? Trebuie oare să înțelegem că evenimentele la care se referă Milne sînt acele momente obținute prin subțierea prezenturilor trăite, întrepătrunse unele în altele? Nu există aici nici o absurditate, dar, în această interpretare, este clar că încetăm să ne mai referim la vreun tip cunoscut de experiență. Într-adevăr, reperarea timpului poate foarte bine să fie o operație care să nu implice la originea ei nici un postulat metric, dar ea implică perceperea evenimentelor separate, adică izolate în totalitatea prezentului, oricît de subțiat ar fi acest prezent. Operației descrise de Whitehead trebuie deci să-i adăugăm o altă operație, care constă din „descojirea” evenimentului pînă la a-l face, nu numai instantaneu, ci simplu și singular.

În actele efective ale conștiinței, s-ar putea ca cele două operații să fie inseparabile și să rezulte din același proces de focalizare, mulțumită căruia evenimentul pregătit prin așteptare se izolează și devine apt să intre în coincidență.

Dar, dacă lucrurile stau așa, adică dacă corelația dintre numere și evenimente presupune evenimente distincte, atunci se pune și problema alegerii criteriului de selectare a acestor evenimente. Pentru ca niște evenimente distincte să poată fi numărate, trebuie ca ele să formeze o serie, o clasă, căci pentru ca numărătoarea să decurgă de la prezent la prezent, trebuie ca evenimentul pe care urmează să-l distingem să poată fi recunoscut, chiar anticipat. Tocmai pentru că prezentul este global, se poate discerne tot ceea ce se produce și se reînnoiește fără încetare în el, dar nimic nu este distins cu necesitate; este deci necesar un criteriu care să permită recunoașterea elementelor seriei de numărat. Pentru ca, din conștiința imediată a „trecerii”, pe care i-o presupunem, *ego*-ul să poată scoate un ceas, chiar arbitrar etalonat, îi trebuie

deci un principiu de selecție care să-i permită să discearnă, în totalitatea vie a „naturii” (în sensul lui Whitehead), o secvență distinctă și continuă. Numai cu elementele unei astfel de secvențe — și nu cu secțiunile instantanee în prezentul total — ar putea fi puse în corespondență numerele. Dar cum se poate distinge în experiența *ego*-ului o secvență definită, dacă nu prin referire la repetițiile periodice de evenimente omogene sau identice, cum sînt mișcarea astrilor, oscilația pendulului sau bătaia pulsului? Răspunsul care îl decepționa pe sfîntul Augustin, acela că măsura timpului este cea a mișcării astrilor, este poate inevitabil. Dacă timpul este măsurabil, aceasta este poate pentru că ordinea lumii i se oferă monadei, într-un mod care rămîne a fi înțeles, din momentul în care aceasta caută să introducă în experiența sa cea mai elementară ordine posibilă, aceea a succesiunii reglementare.

S-ar putea face remarci analoage cu cele precedente în legătură cu constituirea „funcțiilor-semnal”: observatorul *B*, spune Milne, face ca valorilor t_i pe care el le citește pe ceasul lui *A* să le corespundă valorile t'_i citite pe propriul său ceas; dar dacă ceasul lui *A* este etalonat arbitrar, acest procedeu nu îi va permite niciodată lui *B* să construiască vreo funcție. Observațiile deja făcute se vor putea prelungi întotdeauna spre viitor într-o infinitate de moduri, pentru că aprioric nu este previzibilă nici o regularitate în funcționarea ceasului lui *A*, în afară de aceea că el merge încontinuu și nu se întoarce niciodată înapoi. Pentru ca *B* să-și poată construi efectiv funcția, ar trebui să cunoască secvența de evenimente de la care a pornit *A* cînd și-a ales ceasul și legea pe care *A* a ales-o arbitrar pentru corespondența dintre elementele acestei secvențe și mulțimea numerelor. Or, privind cu atenție, este probabil ca aceste condiții să nu poată fi îndeplinite decît dacă *B* ar putea avea acces direct la secvența obiectivă care i-a servit lui *A* pentru a-și stabili ceasul și dacă această secvență, prin propriile sale caracteristici, ar sugera de la sine un anumit tip de lege.

S-ar putea deci ca proiectul lui Milne să fi fost prea ambițios și ca în principiul empirist după care regularitățile cosmice se constată și nu se construiesc să existe mai mult adevăr decît credea el.

Dealtfel, aceasta nu are probabil o importanță prea mare, pentru că de fapt Milne nu reține decît două scări ale timpului.

Această dualitate a timpului este dealtfel trăsătura cea mai bine cunoscută a relativității cinematice și ea oferă reflecției, ca și criticii, posibilități infinite, pe toate planurile — științific, epistemologic și filozofic.

Ne vom mărgini la câteva remarci care să le completeze pe cele făcute pînă acum cu privire la acest subiect. Mai întii aceea că evidențierea scărilor t și τ este prea frumoasă din punct de vedere metafizic pentru a nu fi suspectă din punct de vedere științific. Într-adevăr, ea deschide în mod aproape miraculos calea soluției unor probleme tradiționale. De exemplu, dacă timpul τ este chiar cel al mecanicii, atunci nu este de mirare că ireversibilitatea nu apare în reprezentarea pe care această știință o dă fenomenelor; dacă timpul variază de la minus la plus infinit, orice moment este centru de simetrie pentru toate celelalte momente și timpul se citește în ambele sensuri; dacă există ireversibilitate, ea se află în conținut, nu în formă. Scara τ ascunde însă un lucru pe care scara t îl scoate în evidență: unicitatea direcției timpului și asimetria esențială a structurii temporale, pentru că, în această scară, Universul are un viitor infinit și un trecut finit¹. După cum ne situăm într-o perspectivă sau în alta, cursul lucrurilor va apărea fie reversibil, fie ireversibil.

Dacă, pe de altă parte, confruntăm cele două scări ale lui Milne cu prima antinomie kantiană, vom observa că timpul t ar putea să corespundă tezei, iar timpul τ antitezei. Dacă notăm însă că filozofia tezei este raționalismul metafizic, iar cea a antitezei materialismul, vedem că Milne își sprijină într-un anumit mod soluția critică pe un procedeu matematic, dar că el salvează mai bine decît Kant „interesul rațiunii” care este, pentru el mai mult decît pentru Kant, de partea tezei.

Căci, în sistemul lui Milne, așa cum am arătat, timpul t este mai „adevărat” decît celălalt din mai multe motive: din punct de vedere matematic, el corespunde celei mai simple funcții generatoare și nu presupune introducerea nici unei constante în expresia acestei funcții; din punct de vedere cosmologic, el exprimă direct fenomenul cosmic cel mai grandios, expansiunea galaxiilor; iar din punct de vedere metafizic, el scoate în evidență creația. Punerea în lumină a celor două scări de timp capătă deci la Milne, în mod secret, sensul unei restaurări, al unei reînvieri triumfale a Universului teologic în știință, al unei victorii asupra scientismului ateu, care își reprezintă Universul ca și cum scara τ ar fi singura posibilă.

¹ Milne nu a elaborat matematic consecințele termodinamice ale ipotezelor sale cosmologice. El crede totuși că reprezentarea Universului în scara t exclude posibilitatea unei „stări finale”, datorită relativității măsurării timpului, care face neinteligibilă îmbătrînirea Universului în totalitatea sa. Argumentația lui Milne în această privință, care apare în *Modern Cosmology...*, cap X, este elegantă, dar nu ni se pare absolut convingătoare.

Trebuie să recunoaștem că valoarea distincției dintre cele două scări este mai puțin strălucitoare dacă o considerăm sub aspect fizic. Fără îndoială, din punct de vedere cosmologic, ea are avantajul de a elimina elegant dificultatea scării timpului: timpul fiind infinit în scara τ , care este cea a dinamicii, apropierea „creației” încetează să fie incompatibilă cu geneza marilor ansambluri cosmice. Totuși, în afara faptului că dificultatea nu mai este atât de acută după revizuirea scării distanțelor intergalactice, soluția este poate mai mult aparentă decât reală. Mecanica statistică nu mai este singura care cere, pentru procesele cosmice, intervale de timp suficient de lungi. Într-adevăr, durata evoluției stelelor se poate determina folosind legile fizicii nucleare. Or, în teoria lui Milne, măsurătorile relative la duratele proceselor nucleare se raportează la scara t .

Ceea ce face ca ideea celor două scări ale timpului să fie atrăgătoare este faptul că ea oferă un fel de explicație pentru lipsa de paralelism — binecunoscută — între progresele celor două mari teorii ale fizicii clasice: dinamica și electromagnetismul. Dacă într-adevăr variabila t nu are același sens în ecuațiile din cele două teorii, nu este de mirare că proprietățile lor formale nu sînt aceleași.

Dar în fond, de ce nu este vorba de aceeași variabilă? Care este originea acestei erori a fizicienilor, care, fără să-și dea seama, ar fi schimbat scara timpului extinzînd la electromagnetism metodele matematice folosite în construirea dinamicii? Proiectarea asupra dezvoltării istorice a teoriilor a unei distincții impuse mai întîi axiomatic face ca această dezvoltare să apară foarte enigmatică, avînd în vedere că fizica experimentală nu s-a servit, pînă în epoca contemporană, decît de un singur tip de ceasuri, ceasurile mecanice etalonate după mișcările cosmice... La aceasta se adaugă probabil dificultăți teoretice mai precise. Hill observă că, datorită faptului că structura grupului de simetrie care stă la baza teoriei lui Milne nu poate fi alterată de o schimbare de coordonate, pare dificil să se susțină că grupul omogen cu șase parametri din scara t se poate transforma în acest mod în grupul cu zece parametri din teoria newtoniană¹.

Evidențierea celor două scări ale timpului creează deci de fapt o foarte mare dificultate atunci cînd ne punem întrebări asupra raportului dintre teoria cosmologică și fizica bazată pe experiența terestră. Acesta nu este dealtfel decît un aspect particular al obsta-

¹ E. L. HILL, Recenzia lucrării *Kinematic Relativity*, *Astrophys. J.*, 110, 1949, pp. 99–101.

colului pe care Milne îl ridică între fizica sa și fizica obișnuită, refuzînd să pună măsurarea lungimii cel puțin la același nivel cu măsurarea timpului în ceea ce privește caracterul lor imediat, ca și cum manipularea solidelor și, mai general, experiența directă a corpului propriu în ceea ce privește mediul înconjurător, nu ar fi surse autentice ale cunoașterii fizice.

C. Posibilitățile și limitele metodei deductive în cosmologie după H. P. Robertson

Deși au fost publicate la puțin timp după *Relativity, Gravitation and World-Structure*, adică la o dată la care relativitatea cinematică nu își atinsese maturitatea, cele trei memorii detaliate ale lui H. P. Robertson cu tema *Cinematică și structură cosmică*¹ ne permit ca întorcîndu-ne înapoi să tragem, pe plan tehnic, concluziile încercării lui Milne și să înțelegem tranziția dintre această etapă importantă din mișcarea gândirii cosmologice și etapele care au urmat.

Într-o anumită măsură, Milne a ținut cont de aceste memorii, cu toate că el nu a făcut nici un împrumut direct de la ele și nici măcar nu le-a citat în bibliografia cărții *Kinematic Relativity*. Se pare că, în ochii săi, Robertson era prea legat de „ortodoxism”. Dar Walker, care făcea parte din grupul lui Milne, ajunsese, în aceeași perioadă și independent de Robertson, la rezultate analoage, pe care Milne nu putea și nici nu voia să le ignore.

Ceea ce constituie interesul discuției lui Robertson nu este faptul că ar fi denunțat în teoria lui Milne vreun paralogism indiscutabil sau că ar fi depistat vreo ipoteză *ad hoc*. El nu se preocupa de așa ceva și Milne a avut de altfel tot răgazul să precizeze, să corijeze sau să expliciteze tot ce considera necesar în prima versiune a teoriei sale, în așa fel încît ceea ce rămîne (practic totul) a fost lăsat în mod intenționat în această stare.

Ceea ce a făcut Robertson este mai mult pozitiv decît critic. El a arătat la ce rezultate indiscutabile conduc metoda și principiile lui Milne atunci cînd sînt aplicate, cu mijloacele matematice cele mai bine adaptate, de către un spirit liber de orice prejudecată filozofică — ca să nu spunem de orice interes — destul de indiferent față de confruntarea teoriei cu observația și preocupat înainte de orice de claritatea axiomatică, de siguranța matematică

¹ H. P. ROBERTSON, *Kinematics and World-Structure*, *Astrophys. J.* I, 82, 1935, pp. 284—300; II, 83, 1936, pp. 187—201; III, 83, 1936, pp. 257—271.

și de rigoarea formală. Robertson nu este de fapt nici filozof, nici fizician, nici astronom, ci un logician și un matematician a cărui finețe și excepțională erudiție ne trezesc regretul că la aceasta nu s-a adăugat și o capacitate de invenție comparabilă, care să-i transforme talentul în geniu.

Sub privirea lui Robertson, marile idei ale lui Milne își pierd puțin din aura lor metafizică pentru a căpăta o semnificație strict axiomatică. Matematicianul de la Princeton vede teoria cinematică dominată de principiul cosmologic și condusă în progresul său de ceea ce el numește „metodologia operațională a lui Milne”, aceea care reduce din principiu cunoașterea empirică posibilă a Universului la cea care poate fi dobândită de observatori situați în puncte oarecare, dotați cu ceasuri și cu teodolite și care pot schimba între ei semnale luminoase. În virtutea principiului cosmologic, fiecare dintre acești observatori — cel puțin fiecare dintre cei care aparțin unei anumite clase de observatori fundamentali — trebuie să aibă aceeași vedere asupra Universului ca și ceilalți, cu toate că nu este exclus ca înfățișarea lumii, pentru un observator dat, să se schimbe în timp de la un moment la altul.

Pornind de aici, Robertson încearcă să construiască geometria Universului împingând deducția cât mai departe posibil fără a apela la ipoteze suplimentare. Instrumentul matematic esențial este, cel puțin la început, teoria grupurilor continue de transformări. După ce amintește principiile și rezultatele cosmologiei relativiste, Robertson își dezvoltă argumentația în trei etape care sînt, de altfel, identice cu cele ale lui Milne.

1. Definirea spațiu-timp-ului idealizat (*substratum*-ul lui Milne), adică a sistemului observatorilor fundamentali; forma metricii cu necesitate riemanniană, cu semnatura spațiu-timp-ului Minkowski, rezultă din principii.

2. Dacă se introduce în sistem o particulă de probă liberă, adică nelegată de un observator fundamental, care va fi mișcarea sa? Răspunsul comportă niște limite de nedeterminare suficient de mari pentru a fi compatibil cu mai multe teorii asupra gravitației.

3. Definirea sistemelor statistice de particule, încercînd determinarea completă a acestor sisteme, introducînd succesiv mai multe teorii ale gravitației.

Punînd în lumină rezultatele cele mai semnificative din punct de vedere epistemologic și istoric, putem nota că :

1. Robertson demonstrează că „metodologia operațională” și principiul cosmologic lasă de fapt problema cinematicii *substratum*-ului cosmic mult mai nedeterminată decît lasă Milne să se creadă, chiar atunci cînd ia în considerație (ceea ce nu era

cazul încă în momentul în care Robertson își scria memoriile) posibilitatea unei scări duble a timpului. Deci, fie pentru că Milne nu a dat raționamentului său întreaga generalitate care ar fi fost de dorit (se pare că acesta este cazul pentru trecerea de la echivalența liniară la echivalența tridimensională¹), fie pentru că a introdus ipoteze suplimentare, de exemplu aceea că traiectoriile de univers ale tuturor observatorilor fundamentali se întilnesc într-un punct unic în trecut, *unicitatea* riguroasă a modelului cinematic, de care Walker era atât de mândru, rezultă în parte din împrumuturi făcute de la observație sau din postulate inspirate din surse mai puțin pure decât principiul cosmologic sau conceptul de echivalență.

Cu toate că polemica nu îi stă în fire, Robertson le întoarce cosmologilor cinematici gestul de politețe pe care aceștia îl avuseseră față de cosmologia relativistă reconstituind Universul newtonian. Reiese deci că, dacă alegerea metodei deductive transformă desigur perspectiva, ea nu deschide în mod necesar calea unei soluții mai ușor și mai complet determinabilă decât cea oferită de metoda inductivă sau de cea cvasiinductivă ale cosmologiei relativiste.

2. Aceasta ne conduce la un rezultat mai instructiv al lui Robertson. Dacă se aplică metoda operațională în toată generalitatea sa, se constată că ea conduce inevitabil, în ce privește geometria spațiu-timp-ului, la *a*) o metrică riemanniană (pentru că discuția pune în evidență forma invariantă ds^2), care *b*) are exact aceeași formă și același grad de generalitate ca cea care se impune în cosmologia relativistă. Astfel, analiza lui Robertson face să reiasă un motiv epistemologic profund al succesului ipotezei lui Einstein, că metrica spațiu-timp-ului trebuie în orice caz să fie considerată riemanniană. Această analiză arată apoi că, oricare ar fi drumul pe care îl alege, gândirea cosmologică este obligată să parcurgă anumite căi matematice dacă Universul — și cunoașterea Universului — trebuie să satisfacă, primul anumite condiții de uniformitate și regularitate, iar cel de-al doilea, anumite condiții de invarianță și comunicabilitate.

În deducția lui Robertson, necesitatea ca formă spațio-temporală invariantă să fie pătratică pare legată într-un mod foarte elementar de proprietățile luminii. Referindu-ne la diagrama lui Robertson², vedem că punctul-eveniment *E* este legat de linia

¹ Vezi mai sus, p. 136.

² Memoriile citate; I, p. 289. Diagrama este reprodusă în Anexă, p. 495; comparind simplitatea acestei diagrame cu dificultatea dezvoltărilor date de Milne noțiunii de echivalență, ne dăm mai bine seama de ce facilitați se lipsește acesta refuzînd spațiul-timp. Vezi mai jos, p. 493.

de univers OA a observatorului fundamental A prin două raze luminoase, una t_1E , care pleacă din A , iar cealaltă Et_2 , care vine spre A . Or, pe suprafața spațio-temporală generată de mulțimea unor linii de univers cum sînt $OA, OA' \dots$, ecuația unei raze luminoase de primul tip se scrie $t_1 = \text{const}$ sau $t'_1 = \text{const}$, iar cea a unei raze de tipul al doilea se scrie $t_2 = \text{const}$ sau $t'_2 = \text{const}$, după observatorul care o reperează. Dacă se consideră mulțimea punctelor-evenimente E ca un *continuum*, condiția pentru ca o linie să fie o rază luminoasă oarecare, dintr-o familie sau alta, se va scrie: $dt_1 dt_2 = dt'_1 dt'_2 = 0$. Or, după „metodologia operațională”, sistemele de coordonate prin care observatorii fundamentali reperează mulțimea punctelor-evenimente E sînt stabilite pornind de la măsurători locale de timp, cum sînt $t_1, t_2, t'_1, t'_2, \dots$. Pe de altă parte, principiul cosmologic impune că pentru orice A și pentru orice A' , coordonatele se transformă de la A la A' după o lege de grup. De aici rezultă destul de ușor că condiția locală $dt_1 dt_2 = 0$ duce la condiția general invariantă $ds^2 = 0$ pentru traiectoriile luminii, ds^2 fiind o formă pătratică construită pornind de la coordonate.

Or, acest raționament — pe care bineînțeles noi l-am simplificat mult — completează, pentru structura metrică „spațiu-timp”, concluziile lui Helmholtz și Lie asupra structurii metrice „spațiu”. Dacă măsurarea fizică trebuie să fie judicios fundamentată, necesitatea unei forme pătratice invariante se impune deci și într-un caz și în altul. Discuția lui Lie impune dealtfel condiții mult mai restrictive pentru ds^2 spațial; analog, discuția lui Robertson impune condiția ca ds^2 spațio-temporal să nu mai fie pozitiv definită. Astfel, pornind de la ipoteze plauzibile și puțin numeroase se regăsește aprioric o parte din ceea ce teoria einsteiniană a relativității, restrînsă și generalizată, introdusese în fizică, în ceea ce privește structura geometrică a Universului și cinematica luminii.

3. Robertson pretinde să stabilească, acesta fiind dealtfel punctul în care el se deosebește categoric de Milne, faptul că legea de mișcare a particulei de probă în prezența *substratum*-ului rămîne mult mai nedeterminată decît o spune Milne, dacă ne limităm strict la metodologia operațională și la principiul cosmologic și dacă ne mărginim să adăugăm, conform acestei axiomatici, definiția accelerației particulei. Într-adevăr, legea de mișcare este atunci definită pînă la o funcție arbitrară de două *variabile*¹. Robertson arată că această lege se poate pune de acord cu

¹ „De o *singură* variabilă”, spune Milne, pe baza unei noi axiome, considerată arbitrară de către Robertson, asupra dimensiunilor fizice pe care trebuie — sau mai curînd nu trebuie să le aibă funcția în cauză. Vezi mai sus, p. 144.

orice teorie a gravitației compatibilă cu principiul cosmologic și o dovedește aplicând succesiv teoria einsteiniană, o extindere relativistă a teoriei newtoniene și, în sfârșit, teoria gravitației a lui Milne, după ce studiase sistemele statistice adăugate la *substratum*-ul cinematic. Cu toate că concluzia lui Robertson este nuanțată (teoria lui Milne îi pare puțin promițătoare), preferințele sale se îndreaptă mai curînd spre teoria einsteiniană și rezultatul este în sine de o importanță evidentă din punctul de vedere al cosmologiei. Dacă legea gravitației nu este legată analitic de definiția operațională a *substratum*-ului cinematic, înseamnă că *descrierea* structurii cosmice și *determinarea legilor* care acționează în Univers rămîn ireductibil diferite, contrar cu ceea ce încearcă cosmologia deductivă să stabilească principal.

Discuția lui Robertson duce deci la presupunerea că programul integral al cosmologiei deductive, deducerea legilor fizice pornind de la descrierea cosmologică, are puține șanse să se realizeze vreodată. Dealtfel, mai puțin ambițioși decît Milne, autorii cunoscutei teorii a stării staționare nu au întreprins nimic în acest sens. Aceasta nu l-a împiedicat pe Sciama să încerce un fel de deducere cosmologică a principiului inerției.

Cîteva remarci interesante ale lui Robertson cu privire la extinderea relativistă a teoriei newtoniene a gravitației indică totodată că deducerea cinematică nu șterge deosebirile epistemologice, aflate în spatele deosebirilor tehnice, dintre fizica newtoniană și fizica einsteiniană. Robertson consideră într-adevăr că extinderea relativistă a teoriei newtoniene se bazează pe o interpretare complet apriorică — el spune „kantiană” — a spațiu-timp-ului, după care conținutul material al Universului trebuie să fie considerat ca neavînd influență asupra metricii. Forma pătratică riemanniană reprezintă atunci o formă complet (și nu numai spațial) omogenă și izotropă (nici o direcție de gen temporal nu se poate distinge intrinsec); spațiu-timp-ul nu este decît o formă vidă, iar fasciculul de geodezice al lui Weyl nu are substrat material. Curbura riemanniană a spațiu-timp-ului este, ca și cea a spațiului tridimensional, constantă. Luînd în considerație semnele respective ale celor două curburi (cea a spațiului și cea a spațiu-timp-ului), rezultă șase modele posibile care corespund modelelor „vide” ale cosmologiei relativiste¹.

¹ Fie k ($= +1, 0, -1$) indicele de curbură al spațiului tridimensional și K ($> 0, = 0, < 0$) curbura spațiu-timp-ului. Cele trei cazuri: $k = 0, K > 0$; $k = +1, K = 0$; $k = +1, K > 0$ sînt excluse în cosmologia relativistă pentru Universul vid, prin anularea membrului al doilea în ecuațiile lui Friedman. Rămîn deci posibile șase cazuri. Vezi Anexa, V, ec. 57.

Sîntem și aici în prezența unui rezultat cam supărător din punctul de vedere al gîndirii cosmologice pure, pentru că deducția cinematică nu exclude formal posibilitatea unei distincții fundamentale, constituționale, între forma metrică și conținutul Universului; este reînnoirea, într-o formă nouă, a obiecției aduse de de Sitter lui Einstein.

În general, clarificarea de către Robertson a conceptelor cosmologiei cinematice la cel mai înalt nivel de abstractizare și de generalitate matematică, făcută atunci cînd elaborarea relativității cinematice nu era încă încheiată, nu putea să nu ofere motivele unei „relansări” a problemei. Puterea principiului cosmologic, eficacitatea unui formalism mai abstract se afirmă cu o anumită strălucire, ca și valoarea ipotezei după care principiile epistemologice contribuie într-o măsură importantă la determinarea și la rezolvarea problemei cosmologice. Robertson confirma interesul încercării lui Milne, într-un mod cu atît mai convingător cu cît el nu aparținea acestei școli puțin arogante și cu cît el însuși fusese unul din creatorii cosmologiei relativiste.

Aceasta îi permitea în particular să arunce o lumină nouă asupra raportului dintre teoria relativității și cosmologie. Într-adevăr, în timp ce unul din elementele sistemului einsteinian, gravitația, apărea pînă la urmă ca fiind contingent în raport cu determinarea structurii cosmice, alte concepte relativiste esențiale, forma metrică a spațiu-timp-ului, proprietățile caracteristice traiectoriilor luminii, se afirmă în schimb încă de la început ca indispensabile pentru definirea *substratum*-ului cosmic. Aceasta reprezintă în adevăr, în raport cu lucrarea lui Einstein *Kosmologische Betrachtungen*, o adevărată răsturnare de perspectivă. Relativitatea ca teorie a semnalului apărea mai natural și mai profund legată de gîndirea cosmologică decît relativitatea ca teorie a interacțiunilor materiale.

În această privință, Robertson este foarte aproape de Milne, sau mai curînd de Walker. Căci Milne, datorită ostilității sale filozofice față de conceptul de spațiu-timp și datorită atitudinii sale preconcepute de independență față de „ortodoxism”, tinde mai curînd să minimalizeze, ba chiar să treacă sub tăcere ceea ce reprezintă poate rezultatul cel mai remarcabil al cercetărilor sale: deducerea structurii metrice a spațiu-timp-ului cosmic pornind de la axiomele sale metodologice. Walker, dimpotrivă, văzuse perfect de bine importanța rezultatului și îl considera unul din titlurile de glorie ale relativității cinematice. Acest lucru reiese clar dintr-o controversă care îi opune pe Milne și Walker, pe de o parte, și pe McVittie, apărătorul cosmologiei relativiste, pe de

alta. McVittie, care se străduiește să minimalizeze originalitatea relativității cinematice în raport cu relativitatea generalizată, observă că deosebirea dintre aceste două teorii rezidă în principal în folosirea a două tehnici matematice: geometria diferențială pentru relativitatea generalizată, teoria grupurilor pentru cealaltă¹.

Dar Walker dă replica spunând că alegerea uneia sau alteia dintre aceste metode nu este deloc indiferentă. În relativitatea generalizată, spune el, evoluția unui sistem material este descrisă de geometria unui spațiu Riemann. Aceasta este o ipoteză bună de lucru, dar nu există motive precise și convingătoare ca această geometrie să fie tocmai riemanniană. S-ar putea foarte bine concepe o teorie în care invariantul fundamental să fie o formă de gradul patru, ds^4 , a diferențialelor coordonatelor. Dimpotrivă, metoda grupurilor acoperă aprioric toate posibilitățile. Walker găsește chiar „stupefiant” faptul că relativitatea cinematică, care utilizează metoda grupurilor în întreaga ei generalitate, readuce totuși cosmologia la un spațiu-timp riemannian prin faptul că ea pune în evidență o formă pătratică invariantă². Răspunsul lui McVittie, că mai curând intuiției geniale a lui Einstein i se datorează faptul de a se fi înțeles importanța metricilor riemanniene pentru interpretarea legilor fizice, pare puțin convingător. El se bazează pe confuzia între ordinea raționamentelor și ordinea istorică a descoperirilor.

Totuși, frumoasa demonstrație făcută de Robertson și Walker, după Milne, cu privire la eficacitatea și fecunditatea noii metode în cosmologie, nu a împiedicat punerea în evidență cu această ocazie a limitelor acestei metode. Apărătorii cosmologiei relativiste puteau să pună întrebarea: este oare oportun să se pună în joc procedee atât de subtile — chiar dacă nu arbitrare — o matematică atât de perfecționată, dar atât de îndepărtată de experiență (măsurarea distanțelor prin procedeul „radar” nu se folosește în astronomie, cel puțin nu dincolo de Lună), pentru a reveni până la urmă la modele relativiste, fără a aduce alte criterii de alegere în afara celor date de teoria relativității și de observație?

În orice caz vigoarea anumitor reacții pozitivistice dă măsura nivelului pasional la care Milne făcuse să se ridice dezbateră, prin conjugarea temperamentului său polemic cu ideile sale

¹ G.C. McVITTIE, *Kinematic Relativity*, The Observatory, 63, 798, 1940, p. 278.

² E.A. MILNE, A.G. WALKER, *Kinematic Relativity — A Discussion*, The Observatory, 64, 1941—1942, p. 20.

„eretice”. Într-un scurt articol din *Nature*, H. Dingle ataca cu ardoare „cosmolatria” noilor cosmologi, acuzându-i că reneagă trei secole de progres științific pentru a reveni la metodele apriorice, condamnate de istorie, și că iau partea aristotelicienilor împotriva lui Galilei și Newton¹. Milne era prima sa țintă, dar Dingle nu îl menaja nici pe Dirac, pe atunci în plină glorie, în ale cărei speculații cosmologice vedea „combinarea paraliziei rațiunii cu intoxicarea imaginației”. După Dingle, întreaga cosmologie modernă, pornea de la o concepție contrară teoriei relativității generalizate care, ca și cea a lui Newton, „se referă la comportarea oricărui sistem mecanic și, în consecință, nu poate să ne spună nimic cu privire la caracteristicile proprii ale vreunui sistem particular, și mai ales ale Universului”.

Ceea ce frapează, dealtfel, este mai puțin violența atacurilor lui Dingle cît abundența unor răspunsuri diverse și nuanțate trimise revistei *Nature* în apărarea noii cosmologii. Eddington ține să se distingă de cei care fac speculații asupra omogeneității lumii fizice, care nu este pentru el decît un „fapt special”, imposibil de dedus. Teoria relativității cinematice găsește sprijinul neașteptat al lui Haldane, care crede că pentru un biolog ea are avantajul de a autoriza ipoteza unei evoluții a legilor fizice, care ar facilita rezolvarea problemei genezei vieții. Răspunsul cel mai subtil este furnizat de Whitrow, care denunță erorile istorice ale lui Dingle și pariază că adversarul său, la vremea respectivă, ar fi luat partea lui Ptolemeu împotriva lui Copernic...

¹ *Modern Aristotelianism*, mem. cit.

Capitolul VI

COSMOLOGIA DEDUCTIVĂ: TEORIA STĂRII STAȚIONARE

Cele două motive ale contrapunctului cosmologic — tema ontologică a istoricității cosmice și tema epistemologică a cunoașterii „transcendentale” a Universului — se asociază din nou, în 1948, într-un mod original în memoriul lui Bondi și Gold despre *Steady State Theory of the Expanding Universe*¹ (Teoria stării staționare a Universului în expansiune). Anul 1948 este de altfel unul din anii cei mai marcanți pentru cosmologia secolului al XX-lea. Cartea *Fundamental Theory* pe care Eddington o lăsase în manuscris la moartea sa, cu patru ani înainte, într-o formă aproape încheiată, era acum oferită publicului, în același timp în care Milne propunea cea de-a doua expunere completă a teoriei sale. Alpher, Bethe și Gamow redactau prima versiune a unei teorii despre formarea elementelor (numită teoria α , β , γ după inițialele autorilor²), care va sta la baza construcțiilor cosmogonice ale lui Gamow. În sfârșit, la Mount Palomar intra în funcție în același an telescopul Hale, cu diametrul de 5 metri.

Cu toate acestea, pentru încă mulți ani ochiul va mai rămîne în urma spiritului. Era încă necesară o muncă îndelungată de acomodare înainte ca măsurătorile lui Hubble, care continuau să servească drept punct de plecare și drept punct de incidență cu observația, pentru speculațiile cosmologice să poată fi respuse în mod serios în discuție și revizuite pozitiv. În orice caz, deplasarea spre roșu, universală, izotropă și proporțională cu distanța, apărea ca un fapt din ce în ce mai puțin contestat și în legătură cu care se dovedea din ce în ce mai clar că nu se poate admite în mod rezonabil decît o explicație structurală sau cinematică, incompa-

¹ Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 108, 3, 1948, pp. 252—270.

² Physical Review, 73, 2, 1948, p. 803. În legătură cu această teorie și cu cosmogonia lui Gamow, vezi mai jos, p. 274

tibilă cu un Univers static. Universul trebuia deci considerat ca un sistem în evoluție globală. Vîrsta expansiunii, așa cum rezulta din măsurătorile lui Hubble, 1,8 miliarde de ani, părea însă din ce în ce mai incredibilă în raport cu durata din ce în ce mai bine cunoscută a unor procese astronomice „locale”. Dealtfel, dincolo de această dificultate se schița o altă mai esențială și care rămîne și astăzi, chiar după revizuirea măsurătorilor de distanță, pentru că este epistemologică, chiar metafizică. Dacă Universul se transformă în ansamblul său, dacă întreaga structură cosmică, inclusiv geometria, este antrenată în acest curent, ce valoare poate avea o concluzie de-a noastră cu privire la ceva ce nu ține de prezent? Problema variației seculare posibile a „constantelor” fizicii fusese pusă clar de către Milne și Dirac, acesta din urmă inspirat de încercarea lui Eddington de a deduce constantele și dezamăgit de metodele și de rezultatele înaintașului său. Dar dacă constantele nu sînt cu adevărat constante, nu devine oare atunci știința despre Univers extrem de fragilă?

Pe plan teoretic, cosmologia dăduse tot ceea ce putea da în cadrul principiului lui Weyl și al ipotezelor de omogeneitate și de izotropie. A abandona unul sau altul din aceste postulate, așa cum sfătuia Tolman înainte de moartea sa, tot în anul 1948¹, așa cum o vor face Gödel și mai tîrziu Heckmann², însemna a sări într-un mod oarecum gratuit în necunoscut. Calea deductivă, deschisă cu îndrăzneală de Milne, Whitrow și Walker putea să pară mai promițătoare, dar dezvoltarea relativității cinematice și critica pătrunzătoare a lui Robertson arătasera că determinarea riguroasă a modelului lui Milne nu se obține de fapt decît cu ajutorul unor ipoteze adiționale, care puteau fi considerate ca străine metodei.

Teoria stării staționare (*Steady State Theory*) a lui Bondi și Gold se prezintă ca o încercare îndrăzneată de a face față tuturor elementelor situației. Voința unei măiestrii teoretice perfecte nu este mai mică la acești autori decît la cei ai relativității cinematice și ceea ce îi animă este spiritul cosmologiei deductive, în toată puritatea sa. Dar ei vor să aplice și mai rigurose principiile. În loc să introducă pe drum, ca Milne, ipoteze restrictive suplimentare, ei preferă să impună de la început limitări mai stricte conceptului de univers. „Principiului cosmologic” al lui Milne, căruia îi mențin toate exigențele, ei îi substituie „principiul cosmologic perfect” care cere nu numai ca imaginea lumii, la scară

¹ *The Age of the Universe*, mem. cit.

² În legătură cu modelul lui Gödel, în care nu mai există „timp cosmic”, vezi mai jos, p. 264; în legătură cu modelele anizotrope ale lui Heckmann, vezi p. 274.

mare, să fie identică pentru toți „observatorii fundamentali”, dar mai mult, ea să fie, pentru un același observator, independentă de timp. Dintr-o dată cad toate dificultățile care rezultă din istoricitatea Universului. Vîrsta Universului nu mai are decît un sens relativ în raport cu observația : lumea este fără „vîrstă” și se reînnoiește fără încetare. Numai procesele locale și parțiale au o vîrstă, cu toate că pretutindeni și fără încetare timpul „trece”. Identitatea indefinit continuă a structurii cosmice dă un fundament ontologic permanenței legilor, cu toată dificultatea logică mare care rezultă din contrastul dintre caracterul statistic al primeia (identitatea cosmică) și caracterul riguros al celei de-a doua (permanența legilor).

În schimb, teoria stării staționare impune o ruptură completă cu relativitatea generalizată și, prin ea, cu fizica clasică. Spre deosebire de autorii relativității cinematice, autorii acestei teorii nu propun nici o dinamică, nici o ecuație pentru câmpul gravitațional. Pe de altă parte, asociată cu expansiunea spațiului, staționaritatea implicată de principiul cosmologic perfect conduce inevitabil la postularea creării continue de materie-energie *ex nihilo*¹, adică la modificarea profundă, dacă nu la abandonarea, principiilor de conservare pe care se bazaseră pînă atunci toate teoriile fizice.

A. Epistemologia teoriei stării staționare

Ca și pentru teoria relativității cinematice, epistemologia teoriei stării staționare trebuie examinată cu atenție, dacă vrem să-i înțelegem construcția. Prezentată mai implicit și mai sobru decît cea a lui Milne, această epistemologie nu are caracteristici mai puțin pregnante. Desigur principiile generale pe care le proclamase Milne și care formează cadrul oricărei cosmologii deductive continuă să fie valabile pentru teoria stării staționare și nu vom reveni asupra lor. Totuși, ele se individualizează într-un mod destul de original, anumite concepte trecînd pe planul aldoilea, altele reliefîndu-se dimpotrivă mai accentuat.

1. Metoda deductivă este afirmată foarte net ca preferabilă, în cosmologie, metodei de extrapolare pornind de la o teorie locală. Bondi se dovedește însă mai sensibil decît Milne la obiecțiile care

¹ În acest mod și-au prezentat teoria numai în primele lucrări ; ulterior, autorii teoriei stării staționare au devenit mai precauți în ceea ce privește ideea creației. — N.R.

pot fi aduse folosirii deducției în domeniul științelor fizice și, de asemenea, mai conștient de riscurile oricărui raționament aprioric asupra realului. Printre aceste riscuri, unul reține în mod deosebit atenția lui Bondi și aceasta dă tonul și definește stilul teoriei stării staționare: procedind în mod deductiv ne expunem constant tentației de a introduce ipoteze ad-hoc pentru a particulariza rezultatele și a depăși răscrucile. Se obține astfel o categorie de teorii speculative care, după Bondi, sînt pe drept condamnate. Ar fi însă greșit să extindem această condamnare și la o altă categorie de teorii — cele care explorează temeinic toate consecințele *unei singure* ipoteze foarte puternice, care, atunci cînd este considerată izolat, poate foarte bine să nu pară nici atrăgătoare, nici măcar plauzibilă¹. O astfel de explorare nu este numai legitimă, ea este „însăși esența științei”. Se vede astfel afirmîndu-se la Bondi, mai net chiar decît la Milne, exigența rigorii logice și a determinării complete, precum și încrederea într-un instrument logic bine făurit și solid mînuit. Se vede mai ales apărînd o prejudecată monistă atît de străină gîndirii lui Milne și mai ales celei a lui Whitrow.

Încrederea lui Bondi în virtuțile axiomei unice și importanța pe care o ia pentru el economia ipotezelor sînt atît de mari, încît contraatacul său asupra partizanilor teoriilor de tip inductiv se desfășoară tocmai în acest punct. Empiriștii îi acuză deseori pe autorii deductivi că introduc fără motive serioase ipoteze noi, dar uneori acești autori nu introduc în realitate nici o ipoteză nouă, mîrginindu-se să înlocuiască printr-o ipoteză explicită un postulat admis în mod tacit în alte teorii. A presupune că o mărime este variabilă urmînd o anumită lege — așa cum a făcut-o Milne pentru raportul dintre unitatea de timp atomic și unitatea de timp dinamic — nu înseamnă a introduce o nouă ipoteză, ci a o înlocui pe cea veche, după care această mărime este constantă. Principiul economiei ipotezelor trebuie deci să le depășească pe toate celelalte. Acest monism metodologic are evidente prelungiri ontologice la cel puțin cîțiva dintre autorii sau apărătorii teoriei stării staționare (Gold și Sciama) dacă nu la toți, pentru că, sub acest raport, ca și sub multe altele, poziția lui Hoyle este foarte deosebită².

2. Acești autori insistă mult mai mult decît cei ai relativității cinematice asupra identificării inevitabile, la scara cosmică, între

¹ *Cosmology, op. cit.*, pp. 6—7.

² Asupra teoriei inerției a lui Sciama, vezi pp. 228—234; despre F. Hoyle, vezi p. 234; asupra unicității direcției timpului după Gold, vezi p. 366.

legi și enunțurile descriptive. La acest nivel, într-adevăr, unicitatea obiectului științei face imposibilă eliminarea prin procedeele comparației, a accidentalului în favoarea esențialului. Această separare tradițională nu mai poate păstra nici o semnificație: legile își pierd caracterul lor general și enunțurile descriptive caracterul lor contingent. Este tocmai ceea ce interzice în cele din urmă abordarea inductivă în cosmologie și impune o altă metodă de investigație¹.

Acest principiu nu lipsește din gândirea lui Milne. În orice caz, el se găsește implicit în proiectul de deducere a legilor dinamicii din proprietățile *substratum*-ului cosmic și este ușor de văzut consecința remarcabilă pe care o are în aplicarea acestor legi particulare „libere” (care aparțin sistemelor statistice și nu *substratum*-ului): fiecare din ele descrie în istoria lumii o traiectorie unică, pe care o parcurge o singură dată și în mod ireversibil. Totuși la Milne, pe măsură ce focarul cercetării sale se deplasează dinspre teoria cosmologică spre teoria fizică, opoziția filozofică se referă mult mai mult la aspectul empiric decât la aspectul general al „legii naturii”, așa cum o înțelege pozitivismul. Pentru el, geometria constituie modelul epistemologic al dinamicii; or, geometria este o știință a conceptelor generale, nu descrierea unui obiect unic. La Bondi, Gold sau Sciama se vede schițându-se un ideal epistemologic mult mai monist și mult mai materialist, în măsura în care descrierea existentului fizic, a unicului existent fizic tinde să treacă înaintea determinării universalilor, dacă ne putem servi de acest cuvânt vechi pentru a desemna rețeaua de relații abstracte, generale și vide cu ajutorul cărora fizica interpretează și dă o formă datelor experienței. La limită, idealul ar fi identificarea posibilului cu realul. Tocmai refuzul de a separa unul de celălalt este ceea ce constată și aprobă Sciama de fapt în argumentația lui Mach asupra inerției, atunci când vrea să o apere de critica lui Russell, care îi reproșează lui Mach faptul că susține că orice propoziție trebuie să se refere la lucruri existente². Proiectul de identificare a posibilului cu realul este la fel de vizibil în argumentația lui Gold asupra ireversibilității cosmice, din care rezultă, așa cum vom vedea, că Universul în expansiune este singurul posibil, că un Univers în contracție este nu numai ireal, ci și imposibil.

Această imagine realistă și unitară a Universului este și din alt punct de vedere opusă filozofiei relativității cinematice. Căci,

¹ *Cosmology, op. cit.*, p. 10.

² D.W. SCIAMA, *The Unity of the Universe*, Faber and Faber, Londra, 1959, pp. 97–98.

nu numai că folosirea pe care o dă Milne principiului rațiunii suficiente implică o anumită deosebire între lumea esențelor logice și cea a lucrurilor existente, dar teoria monadologică, așa cum o dezvoltă Whitrow, contrastează puternic, prin aspectul său în același timp pluralist și idealist, cu ceea ce își propune teoria stării staționare. Cu toate că există destule motive pentru a nu avea încredere în analogiile stabilite între niște filozofii despărțite de prea multe secole, nu ne putem împiedica să găsim în această teorie un parfum de stoicism. Căci stoicii nu credeau în realitatea universalilor, voiau să înlocuiască logica claselor cu cea a evenimentelor, erau convinși de unitatea lumii și de omniprezența totulului în fiecare din părțile sale. Atunci când Sciama încearcă să ne convingă că inerția unui grăunte de nisip este determinată în proporție de 80% de galaxiile situate dincolo de limitele Universului observabil cu marele telescop de la Mount Palomar¹, nu ne putem împiedica să ne gândim la picătura de vin a lui Crisip care ar putea să se amestece cu întreaga mare².

3. Dacă știința despre Univers trebuie să se dezvolte aprioric aceasta nu poate avea loc totuși fără a se sprijini pe intuiție. Pentru ca axiomele să se poată referi la realitatea fizică trebuie să se stabilească undeva, într-un mod oarecare, un prim contact cu această realitate. Fără aceasta, o teorie cosmologică nu s-ar deosebi cu nimic de o teorie pur formală, ceea ce nu este în spiritul cosmologiei deductive. Am văzut că pentru Milne faptele primordiale sînt pe de o parte *ego*-ul și experiența sa despre timp, iar pe de altă existența posibilă a unei multiplicități de *ego*-uri capabile să schimbe semnale între ele. Lucrul cel mai important pe care intuiția îl dă științei nu este, în această concepție, experiența locală asupra lumii. Cosmologiei nu i se cere deci să interpreteze o experiență directă asupra Universului real, nici să generalizeze sau să completeze o privire sumară asupra lumii; sarcina sa constă înainte de orice în a construi sistemul conceptual și metric care să susțină orice experiență.

Cu totul altfel se petrec lucrurile în teoria stării staționare. Ceea ce se dă acum ca fapt primordial pentru cosmologie este o anumită experiență directă, prealabilă oricărei elaborări conceptuale a totalității cosmice. Există fapte din observația curentă care au o semnificație cosmică imediată. Dacă cosmologia este anterioară fizicii, aceasta nu trebuie luată numai într-un sens logic, ci pînă la un anumit punct și într-un sens experimental. Anumite

¹ *The Unity of the Universe*, op. cit., p. 118; vezi mai jos, p. 234.

² Citat din J. BRUN, *Les Stoiciens*, P.U.F., 1957, p. 46.

experiențe banale ne instruiesc în privința cunoașterii Universului și există o interpretare cosmologică a experienței obișnuite. Aceasta este o idee metodologică ce poate părea destul de surprinzătoare într-un secol în care a devenit aproape evident pentru toată lumea că faptele primordiale ale științei nu sînt deloc cele ale experienței obișnuite și că pentru a ajunge la ele este nevoie de o aparatură extrem de perfecționată. Referitor la experiențe, nimeni nu ar mai risca să susțină astăzi, așa cum o făcea Descartes, că „pentru început este mai bine să nu ne servim decît de acelea care se prezintă de la sine simțurilor noastre și pe care nu le-am putea ignora”. Dealtfel, nu am dat decît o imagine foarte simplificată a principiului metodologic al autorilor teoriei stării staționare. Căci, după ei, prezența faptelor cosmice în imediata noastră vecinătate are o influență directă asupra rezultatelor experimentale ale fizicii locale, chiar și în cazul unei fizici foarte elaborate. Este posibilă nu numai o interpretare cosmologică a experienței obișnuite — care nu poate avea decît un sens calitativ — ci și o interpretare cosmologică a anumitor experiențe fizice ale căror rezultate se exprimă precis, numeric.

În această privință, acești autori rețin întotdeauna două exemple preferate (sînt oare acestea singurele posibile?) pentru a-și justifica concepția asupra surselor locale ale cunoașterii cosmologice. Primul este cel al *inertiei*. Toți sînt cel puțin *tentați* de principiul lui Mach, în virtutea căruia inerția unui corp ar fi determinată în fiecare punct de ansamblul maselor existente în Univers. Bondi și Gold consideră inerția ca fiind „aproape sigur” rezultatul unei interacții — dealtfel puțin înțeleasă — între corpul de probă și ansamblul Universului¹. Bondi consideră principiul lui Mach ca „încintător din punct de vedere intelectual sub multe aspecte”². Cît despre Sciama, el îl acceptă fără rezerve și încearcă să-l integreze într-o teorie nouă a inerției³. Or, dacă principiul lui Mach este adevărat, inerția, care alături de gravitație este proprietatea dinamică cea mai familiară a corpurilor, aduce o mărturie directă în favoarea acelei „materii cosmice” pe care de Sitter mai putea s-o pună la îndoială în 1917, în lipsa unui telescop suficient de convingător. Aceasta este o certitudine calitativă care se poate preciza într-o cunoaștere numerică foarte precisă asupra Universului. Măsurînd în laborator constanta gravitației (adică relația

¹ H. BONDI, T. GOLD, *mem. cit.*, §3, p.1.

² H. BONDI, *Cosmology*, *op. cit.*, p. 33.

³ D.W. SCIAMA, *On the Origin of Inertia*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 113, 1, 1953, pp. 34—42.

între forța de gravitație și forța de inerție care se exercită asupra unui corp dat), se obțin, după principiul lui Mach, informații asupra întregului Univers.

Al doilea exemplu este cel al *slabei străluciri a cerului nocturn*, care este un fapt bine cunoscut : odată ce Soarele a apus, din cer nu mai vine decât o „claritate obscură”. Or, confruntat cu principiul cosmologic și cu ipotezele cele mai incontestabile asupra naturii stelelor, acest fapt familiar dă naștere paradoxului lui Olbers : dacă se presupune că stelele sînt distribuite izotrop și omogen în spațiu, legea de propagare a radiației (în $1/r^2$) face ca pierderea de radiație să fie mai mult decât compensată de creșterea odată cu distanța a numărului surselor de radiații. Cerul ar trebui să fie strălucitor în mod uniform, intensitatea radiației primite nefiind limitată decât de ocultația stelelor unele de către altele¹. Numai expansiunea Universului, susțin autorii teoriei stării staționare, poate să înlăture paradoxul, eliminînd excesul de radiație. Faptul că se face întineric în timpul nopților fără Lună, dovedește deci calitativ că Universul este în expansiune. Mai mult, măsurarea locală a defectului de radiație, presupunînd că ea ar fi posibilă cu o precizie suficientă, trebuie în principiu să dea măsura expansiunii. Olbers, care a descoperit paradoxul, ar fi putut deci, cu o sută de ani înaintea lui Hubble și a ochiului său gigantic, să deducă recesiunea și să-i măsoare cel puțin grosier ordinul de mărime... Cel puțin așa afirmă Sciama, care vede aici „una din cele mai mari ocazii pierdute din întreaga istorie a științei”².

Deși toate acestea conduc destul de departe de epistemologia lui Milne și Whitrow, trebuie să remarcăm totuși odată mai mult că, cu toate preferințele lor moniste și realiste, autorii teoriei stării staționare țin totuși de cosmologia deductivă printr-o anumită logică internă : ei enunță principiul cosmologic perfect în termeni de observatori și aparențe. Desigur că nu întîmplător împrumută Bondi de la Milne expresia „timp comun” pentru a desemna timpul universal pe care îl postulează, odată cu principiul lui Weyl, cosmologia relativistă³. Acest simplu adjectiv indică destul de bine faptul că cosmologia contemporană, oricît de realistă se vrea ea, cu greu poate reveni la o concepție strict obiectivă asupra sistemului lumii, care să nu facă nici o referire la condițiile în care poate fi observat acest sistem de către mulțimea spectatorilor săi posibili.

¹ Vezi Anexa, p. 493.

² *The Unity of the Universe*, op. cit., p. 83.

³ *Cosmology*, op. cit., p. 10. Vezi Anexa, IV, C.

B. Deducerea teoriei stării staționare

Teoria stării staționare a Universului în expansiune a fost dezvoltată pentru prima oară într-un lung memoriu al lui Bondi și Gold, al cărui raționament îl vom urmări în esență, completând prezentarea cu împrumuturi ocazionale din expunerea teoriei dată de către Bondi în cartea sa *Cosmology* și rezervînd un loc aparte teoriei inerției a lui Sciama. Ideile cosmologice ale lui F. Hoyle, foarte apropiate, în anumite privințe, de cele ale lui Bondi și Gold, în ceea ce privește aspectul fizic al teoriei și mai ales generarea continuă de materie, se încadrează totuși într-o filozofie și o epistemologie mult deosebite. Ele nu se trag din cosmologia deductivă în sensul propriu al cuvîntului și, dată fiind perspectiva noastră, trebuie separate clar.

Prima etapă a raționamentului lui Bondi și Gold constă în a construi, justificînd-o totodată, ceea ce va reprezenta axioma fundamentală a teoriei: principiul cosmologic perfect. Argumentația este foarte riguroasă, dar puțin sinuoasă; o vom simplifica sperînd să nu-i trădăm spiritul.

Motivul principal pentru a pune o anumită axiomă la baza cosmologiei este existența unei dependențe inevitabile și reciproce între fizică și cosmologie. Într-adevăr, „repetabilitatea fără restricții a experiențelor este axioma fundamentală a științelor fizice”¹. Este cel puțin ceea ce afirmă Bondi și Gold la începutul memoriului lor, cu aceeași simplitate lipsită de nuanțe cu care Kant afirma încă din primul rînd al unui text celebru că „din tot ceea ce este posibil de conceput în această lume, ba chiar și în afara ei, nimic nu ar putea fi considerat ca bun fără rezerve decît numai o *voință bună*”. Aplicarea axiomei repetabilității presupune de fapt că fizicianul distinge printre fenomenele asupra cărora experimentează pe cele care sînt esențiale de cele care sînt accidentale și își alege liber condiții experimentale care să-i permită să le elimine pe cele din urmă. El nu dispune însă, în orice caz, nici de loc și nici de timp (de la o încercare la alta s-a scurs un interval de timp, iar Pămîntul s-a deplasat în raport cu ceea ce îl înconjură). Pe de altă parte, el nu este sigur că laboratorul poate fi pus la adăpost de influențe cosmice. Cu tot progresul fizicii teoretice, argumentul lui Mach rămîne încă foarte puternic. Este bine cunoscut faptul că starea de rotație a Pămîntului, determinată cu ajutorul pendulului lui Foucault, coincide exact cu

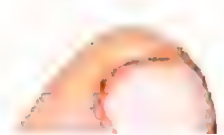
¹ *Unrestricted Repeatability*, *mem. cit.*, §§1, 2, p. 252. *Indefinite Repeatability*, *Cosmology*, *op. cit.*, p. 10.

starea de rotație a astrilor îndepărtați în jurul unui observator terestru. Este oare vorba de o simplă coincidență, sau de manifestarea unei relații cauzale? Dacă, urmîndu-l pe Mach, alegem cel de-al doilea răspuns, inerția oricărui corp terestru este determinată de ansamblul materiei cosmice și orice experiență dinamică locală este afectată în mod fundamental de această materie.

Cum să împăcăm existența acestei influențe și localizarea experienței cu axioma repetabilității, de vreme ce experimentatorul nu poate dispune nici de una, nici de cealaltă? Dificultatea rezultă de fapt din unicitatea Universului, care face imposibilă transpunerea la acest nivel a distincției dintre accidental și esențial. Este imposibil să decidem dacă vreo trăsătură observată a structurii cosmice îi aparține acesteia în mod esențial sau accidental, astfel încît efectul unei variații oarecare a proprietăților sale asupra experienței locale — și prin ea, asupra a ceea ce considerăm a fi legile naturii — este de fapt total necunoscut. Dacă legile opticii pe care le cunoaștem sînt în parte determinate de o influență cosmică care se exercită asupra experiențelor noastre, influență care diferă însă după loc și timp, devine imposibil să interpretăm observațiile pe care le facem asupra luminii care provine de la obiecte îndepărtate.

De fapt, orice teorie cosmologică și, mai ales, orice teorie a evoluției cosmice se bazează pe ipoteze care permit să se ocolească dificultatea amintită. Unele dintre aceste ipoteze pot fi deosebit de satisfăcătoare din punct de vedere intelectual, de unde și argumentele „estetice” în favoarea lor, argumente care își au valoarea lor, dar nu pot înlocui un fundament logic. Spre exemplu, ipoteza caracterului constant al legilor este deosebit de atrăgătoare, pentru că ea conferă permanență lucrurilor abstracte. Dar este oare rezonabil să o admitem ca valabilă în condiții fizice extrem de diferite de cele normale, spre exemplu în starea de compresie extremă în care a putut să se găsească materia acum cîteva miliarde de ani?

„Principiul cosmologic” oferise o soluție parțială, eliminînd orice risc în legătură cu posibilitatea ca legile să fie determinate local prin particularități de structură. Aplicarea sa este cu atît mai oportună cu cît observația dobîndită în privința Universului îndepărtat îl face să pară foarte probabil. Dar el este imperfect pentru că lasă deschisă posibilitatea unei variații în timp a structurii cosmice — acest timp cosmic pe care îl presupun de fapt toate teoriile care admit principiul cosmologic — și, prin urmare, posibilitatea unei eventuale modificări a legilor rezultată din această variație. Dealtfel, principiul cosmologic nu se poate lipsi



de ipoteze suplimentare în această privință, dar părerile cu privire la ele diferă : pentru unii, legile obținute pornind de la experiențe de laborator sînt întotdeauna aplicabile, oricare ar fi stadiul de evoluție a structurii cosmice ; pentru alții, legile sînt identice ca formă, dar „constantele” numerice care figurează în expresia lor sînt, de fapt, variabile în timp ; în sfîrșit, pentru alții, prin compararea între ele a valorilor empirice se pot discerne adevăratele constante de celelalte.

Punctul de vedere al autorilor teoriei stării staționare este cu totul altul. Ei postulează că interacțiunea dintre legile fizice și structura cosmică trebuie să ducă la o poziție stabilă și își propun să exploreze „posibilitatea ca Universul să fie într-o stare stabilă, fără a face vreo ipoteză asupra trăsăturilor particulare care duc la această stabilitate”. Dealtfel, un asemenea Univers este de fapt singurul care oferă o bază oarecare ipotezei după care legile fizice sînt constante, iar fără această ipoteză cunoașterea noastră este pur instantanee și poate cu totul inadecvată pentru interpretarea dependenței legilor de structura cosmică, deci improprie oricărei extrapolări spre trecut sau spre viitor. De aici apare *principiul cosmologic perfect* : „Se postulează că Universul este omogen și staționar în înfățișările sale la scară mare, precum și în legile sale fizice”¹. Teoria trebuie să rezulte din explicitarea tuturor consecințelor care decurg din această axiomă extrem de restrictivă, chiar dacă acestea intră în contradicție cu concluziile teoretice general admise. Ceea ce caută autorii și ceea ce pretind dealtfel să găsească, sînt unele dovezi directe rezultate din observație și nici una din aceste dovezi nu trebuie neglijată.

Consecința cea mai simplă care se poate trage din principiul cosmologic perfect este că Universul este imuabil, dar, practic, această concluzie este exclusă de observarea decalajului spectral al nebuloaselor. Acest fapt putea să fie știut încă din 1930, iar eșecul repetat al tuturor încercărilor de a interpreta acest fenomen în cadrul unui Univers static a făcut ca în 1948 această excludere să fie și mai riguroasă. Dar aici autorii teoriei aduc în dezbateră un element nou, făcînd să intre în joc considerații termodinamice fără legătură directă și vizibilă cu expansiunea, pe care le-am menționat mai sus. Într-adevăr, după ei, Universul static este în orice caz exclus, prin simpla existență a unui dezechilibru termodinamic al lumii fizice, perceptibil la orice scară. Că Uni-

¹ *Mem. cit.*, p. 254. „...Aspectul Universului la scară mare trebuie să fie independent nu numai de poziția observatorului, dar și de momentul în care el își face observațiile” (H. BONDI, *Cosmology, op. cit.*, p. 141).

versul nostru nu este în echilibru „rezultă clar nu numai din observațiile astronomice, ci și din fizica locală și, de fapt, din însăși existența noastră”¹.

Acesta este cel de-al doilea exemplu, după cel al inerției, al unei legături directe între o trăsătură familiară a realității fizice și o proprietate structurală a întregului Univers. Raționamentul lui Olbers este suficient, fără a mai fi nevoie de un telescop, pentru a ne convinge că un Univers conform principiului cosmologic nu poate fi static. Obscuritatea cerului nocturn nu este decât consecința cea mai „vizibilă” a faptului că „una dintre trăsăturile cele mai marcante ale mediului nostru fizic înconjurător este raritatea extraordinară a radiației”².

Singura soluție plauzibilă a paradoxului lui Olbers fiind expansiunea, trebuie să ne întrebăm în ce condiții este compatibilă această mișcare cu principiul cosmologic perfect. Or, dacă principiul hidrodinamic de continuitate este satisfăcut, principiul cosmologic perfect nu este, deoarece densitatea materiei descrește. Pentru a împăca mișcarea de expansiune și staționaritatea cerută de principiul cosmologic perfect, trebuie să se renunțe la principiul hidrodinamic de continuitate și să se admită *generarea continuă de materie ex nihilo*. În aceasta constă, după mărturia lui Bondi, „schimbarea cea mai revoluționară” pe care o implică teoria³. Trebuie păstrat neapărat principiul de continuitate hidrodinamic? Valorile empirice ale constantei de recesiune și ale densității cosmice medii permit să se estimeze cu ușurință viteza de generare necesară pentru a împăca expansiunea cu staționaritatea; o particulă de masă unui proton la un litru și la un miliard de ani. La această viteză, generarea continuă este evident inobservabilă și fără influență asupra rezultatului experiențelor locale. Credincioși regulii lor epistemologice de a se menține cu orice preț la axioma lor unică, în absența unei dezmințiri formale din partea observației, autorii teoriei stării staționare preferă principiul cosmologic fără a mai ține seama de alte neajunsuri ale sale. Dealtfel, principiul hidrodinamic de continuitate este cel aflat în cauză, și nu principiul conservării materiei-energiei, căci nu este absurd să se pretindă ca teoria stării staționare să respecte global acest din urmă principiu, într-un sens strict „fenomenologic”. Această teorie implică într-adevăr faptul că, așa cum vom vedea, cantitatea de materie-energie prezentă în Universul *observabil* este

¹ H. BONDI, T. GOLD, *mem. cit.*, p. 255.

² H. BONDI, *Cosmology*, *op. cit.*, p. 19.

³ *Ibid.* p. 143. Vom vedea totuși că ideea plutea „în aer”; posibilitatea generării continue fusese deja luată în considerație, după Jeans, de către Jordan. Vezi mai jos, p. 255.

constantă, generarea compensînd energia care, prin mișcarea de expansiune, se pierde continuu (evident, în virtutea principiului cosmologic, oricare ar fi observatorul ales)¹.

Considerațiile precedente rămîn în esență calitative, iar pentru a confrunta teoria cu observația și cu rezultatele dobîndite de fizica locală, este indispensabil să se definească structura metrică a Universului, natural fără a recurge la teoriile existente, ca teoria newtoniană a gravitației sau R.G., care se bazează pe principiul conservării materiei-energiei, conceput într-un sens care exclude formal generarea continuă de materie. Pentru o încercare de acest fel, autorii dispuneau, în 1948, de o experiență teoretică importantă, cea a cosmologiei relativiste, cea a relativității cinematice. Discuția generală a lui Robertson asupra rezultatelor sigure ale „metodologiei operaționale” le furniza, în sfîrșit, pe plan tehnic, cheia problemei.

Ca toți cosmologii contemporani, autorii teoriei stării staționare admit că partea observată din Univers este reprezentativă pentru ansamblu. Or, omogeneitatea distribuției galaxiilor în partea explorată a spațiu-timp-ului, expansiunea izotropă, proporțională, într-o primă aproximație, cu distanța, erau fapte de acum bine stabilite, care confirmau valoarea intuițiilor lui Einstein și Weyl. Ele justificau folosirea principiului cosmologic și indicau, pe de altă parte, că mișcarea generală a materiei urmează o schemă particulară și bine definită: cu toate fluctuațiile, în fiecare punct se schițează o direcție preferențială. În principiu, un observator oarecare, măsurînd în fiecare direcție constanta din relația lui Hubble, ar putea determina abaterea propriei sale mișcări în raport cu mișcarea generală a *substratum*-ului, prin diverse procedee statistice care ar putea da desigur rezultate diferite, dar între niște limite destul de înguste. În sfîrșit, pentru orice observator, schema generală a mișcării materiei este definită în orice punct de un cîmp de vectori în spațiu-timp-ul cvadridimensional, cu mici abateri locale față de mișcarea preferențială.

Dar aceste ipoteze, la care se adaugă proprietățile fundamentale ale luminii așa cum le acceptă întreaga fizică, de la teoria relativității restrînse, sînt tocmai cele pe care s-au sprijinit Milne, Robertson și Walker în construirea teoriei *substratum*-ului cosmic în perfect acord geometric, dacă nu fizic și filozofic, cu cosmologia relativistă. Autorii noii teorii se sprijină deci pe rezultatele acestora, modificîndu-le — dacă ne gîndim la Milne — și parti-

¹ Dimpotrivă, principiul hidrodinamic de continuitate este o relație diferențială. Deoarece generarea continuă este un fenomen local, pe care convențiile obișnuite ale cosmologiei ne obligă să-l considerăm ca continuu în adevăratul înțeles, ea este strict incompatibilă cu principiul hidrodinamic de continuitate.

cularizându-le — dacă ne referim la Robertson — prin restricția suplimentară pe care condiția de staționaritate o impune principiul cosmologic perfect. Această restricție are două consecințe importante :

1. Ea permite — cel puțin după afirmațiile lui Bondi și Gold — să se elimine *timpul cosmic* dintre conceptele de bază ale cosmologiei.

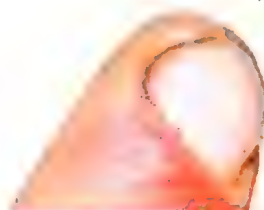
2. Ea permite să se specifice, pînă la o singură constantă, care poate fi obținută din observații, elementul ds^2 al *substratum*-ului.

Aceste două consecințe se află în centrul teoriei stării staționare, considerată ca teorie cosmologică în sensul strict al cuvîntului și de aceea trebuie să ne oprim asupra lor.

Probabil că cititorul a observat că problema timpului cosmic este una din cele mai dificile probleme ale cosmologiei. Argumentele lui Bondi și Gold în această privință nu sînt poate de o perfectă claritate. După părerea noastră, ei dovedesc în mod incontestabil că teoria stării staționare este mai puțin dependentă decît oricare altă teorie de ipoteza timpului cosmic : intervalul de timp cosmic nu mai păstrează decît o semnificație statistică, iar datarea unui eveniment cosmic într-o scară de timp absolută devine de neconceput. Totuși, ar fi exagerat să se pretindă că timpul cosmic este total eliminat din teorie. Trebuie în orice caz să reluăm problema dintr-un stadiu mai îndepărtat.

Ipoteza timpului cosmic a fost explicitată de Weyl în 1923, în discuția pe care a făcut-o asupra Universului lui de Sitter¹. Într-un anumit sens, ea marchează în relativitate un pas înapoi față de condițiile de invarianță definite de teoria restrînsă. Ea se impunea totuși cosmologiei relativiste, tot așa cum se impune oricărei teorii care descrie Universul ca avînd o înfățișare omogenă și izotropă în orice punct, fără a fi totuși staționar. Geometric, ea revine la postularea existenței unei familii de hipersuprafețe ortogonale traiectoriilor de univers ale particulelor cosmice, cel puțin ale acelor care formează un ansamblu fundamental (identificat în general cu ansamblul galaxiilor). Timpul cosmic este atunci parametrul — unic — asociat acestei familii de hipersuprafețe. Această reprezentare geometrică nu este dealtfel indispensabilă pentru înțelegerea motivului pentru care conceptul de timp cosmic se impune în mod natural din momentul în care principiul cosmologic este completat de ipoteza unei evoluții totale, așa cum o

¹ Vezi mai sus, p. 59 și Anexa, IV, C.



arată raționamentul „operațional” al lui Bondi ¹. Dacă orice observator fundamental vede Universul în evoluție, atunci, în virtutea principiului cosmologic, va fi posibil ca A să găsească un moment t_A pe ceasul său în care vede lumea în aceeași stare în care o vede B , la un moment pe care acesta îl notează cu t_B pe ceasul său. Universul, datorită înfățișării sale omogene și izotrope, joacă rolul unui instrument de sincronizare a ceasurilor. Or, după autorii teoriei stării staționare, această consecință prezintă următorul mare inconvenient.

Ipoteza nu este valabilă decât pentru *substratum*-ul observatorilor-particule fundamentali, ale căror traiectorii sînt geodezicele lui Weyl, care nu se întretaie decât într-un punct singular situat la o distanță finită sau infinită în trecut. Dar mișcările reale ale galaxiilor se abat de fapt de la aceste geodezice și este imposibil de știut dacă timpul cosmic „există”, adică dacă traiectoriile reale ale galaxiilor sînt efectiv ortogonale pe o familie de hipersuprafețe, adică dacă observatorii reali și-ar putea efectiv sincroniza ceasurile, așa cum o pot face observatorii ideali ai *substratum*-ului. Local, substituirea observatorilor reali prin observatori fundamentali, identificarea traiectoriilor galaxiilor cu geodezicele lui Weyl este desigur o aproximație rezonabilă. În schimb, extinsă la întregul Univers, această substituie este îndoielnică: ea riscă să nu fie adevărată, nici măcar aproximativ. Conceptul de timp cosmic poate deci să ruineze complet structura logică a teoriei cosmologice: Universul idealizat al cosmologiei ar putea avea o trăsătură căreia să nu-i corespundă nimic, nici măcar aproximativ, în cel real ².

Dimpotrivă, în teoria Universului staționar existența timpului cosmic nu este implicată de ipoteza omogeneității, adică este indiferent dacă există sau nu o familie de hipersuprafețe ortogonale cu traiectoriile de univers ale galaxiilor. Desigur, în măsura în care teoria stării staționare este obligată să se refere la un *substratum* metric simplu, să raționeze pe un Univers idealizat, ea admite de asemenea un timp cosmic căci, spune Bondi ³, există argumente geometrice care arată că un astfel de concept se impune în orice model simplu. Dar, de fapt, așa cum vom vedea, singura metrică compatibilă cu ipotezele teoriei este aceea în care existența unui timp cosmic nu poate avea nici o influență asupra observării Universului la scară mare și în care nu poate exista

¹ H. BONDI, *Cosmology*, op. cit. p. 71; nu Bondi, ci noi am introdus expresia „operațional”, după „metodologia operațională” a lui Robertson; vezi mai sus, p. 196.

² H. BONDI, T. GOLD, *mem. cit.*, p. 257; *Cosmology*, op. cit., p. 72.

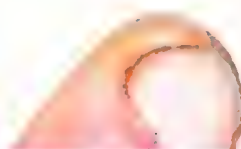
³ *Cosmology*, p. 71.

nici o măsură efectivă a unui interval de timp cosmic. De aici rezultă condiții precise pentru teoria evoluției galaxiilor. Dacă, cu ajutorul metricii *substratum*-ului, ajungem să determinăm vîrsta galaxiilor după proprietățile lor fizice, această determinare nu trebuie să ne permită o măsurare a timpului cosmic. Creindu-se fără încetare noi galaxii, în același timp în care cele vechi se îndepărtează și dispar la orizontul cosmic¹, proporția galaxiilor de orice vîrstă trebuie să fie independentă de timpul de observație. Dealtfel aceasta este pînă la urmă singura bază posibilă pentru observația îndepărtată. Astfel singura îmbătrînire pe care observatorul o poate constata este cea a mediului său înconjurător imediat, pe care expansiunea nu îl afectează : acesta este un fenomen local.

Totuși, această argumentație are numai o aparență de adevăr, căci expansiunea face să apară în *substratum* un interval de timp caracteristic, care permite să se calculeze durata dincolo de care semnalele emise de o galaxie oarecare nu mai ajung la observator (această durată variază de la zero la infinit, după poziția galaxiei date în momentul inițial ales). Prin urmare, va exista o relație determinată între distribuția statistică a galaxiilor, după vîrsta lor individuală, măsurată în timpul propriu al observatorului, și timpul caracteristic al expansiunii, măsurat în scara timpului cosmic din *substratum*. Pe de altă parte, identificarea celor două scări de timp nu poate fi separată de ipoteza după care lumea reală poate fi identificată cu *substratum*-ul. Am putea aduce acum pretenției lui Bondi și Gold de a elimina timpul cosmic în teoria lor, următoarea obiecție :

După principiul cosmologic perfect, distribuția galaxiilor după vîrsta lor trebuie să fie o dată cosmică aparținînd lumii reale și nu numai *substratum*-ului. Dar atunci, ceea ce am spus mai înainte implică faptul că intervalul de timp cosmic, măsurat cu ajutorul metricii *substratum*-ului, încetează de a mai fi numai o proprietate a modelului idealizat, asociindu-se strîns de proprietățile reale ale Universului. Distribuția după vîrstă a galaxiilor permite sincronizarea ceasurilor, cel puțin în sensul că ea permite definirea „comună” a unei unități de timp. Trebuie să admitem totuși, odată cu autorii :

¹ Ele „dispar” în sensul că fotonii emiși de ele după un anumit timp nu mai ajung pînă la Pămînt. Dar observatorul terestru le „va vedea” întotdeauna, pentru că timpul de parcurs al fotonilor emiși crește indefinit pe măsură ce ne apropiem de această limită. Vezi Anexa, IV, 2.



1. că intervalul de timp cosmic asociat evoluției reale a Universului observat nu mai are decât o semnificație statistică și nu sensul geometric precis pe care îl îmbracă în *substratum*;

2. că teoria exclude cu desăvârșire datarea unui eveniment oarecare într-o scară de timp universal absolut; și

3. că această ultimă particularitate elimină riscul pe care îl implică orice concepție mai strictă asupra timpului cosmic (modelele clasice ale cosmologiei relativiste sau modelul cinematic), de a stabili o abatere arbitrar de mare între traiectoriile reale ale galaxiilor și geodezicelor lui Weyl, cu care ele ar putea fi identificate instantaneu. Am putea poate rezuma toată această discuție spunând în concluzie că teoria stării staționare elimină *istoria* cosmică, conservând *timpul* cosmic.

Am spus că ipotezele cinematice și metodologia operațională a lui Milne și Robertson conduc, pentru elementul ds^2 al *substratum*-ului exact la aceeași expresie care rezultă, în cosmologia relativistă, din ipotezele de omogeneitate și de izotropie și din principiul lui Weyl¹. Impunând acestei metrici restricțiile suplimentare care rezultă din principiul cosmologic perfect, autorii teoriei stării staționare ajung să obțină acea determinare completă a metricii cosmice la care cosmologia relativistă nu putuse să ajungă și care, după Robertson, nu rezulta la Milne din nici un postulat perfect explicitat și complet justificat. Într-adevăr, aplicată ecuației 4 (Anexa, IV) condiția de staționaritate duce imediat la următoarele consecințe:

1. $k = 0$; într-adevăr $\frac{k}{R^2}$, curbura spațiului tridimensional

(r, θ, φ) , este o mărime observabilă, pentru că afectează viteza de creștere în funcție de distanță a numărului de galaxii observabile. În virtutea principiului cosmologic perfect, această viteză trebuie să fie constantă, ceea ce este imposibil în cazul în care k nu este nul, pentru că R variază cu t .

2. $\frac{\dot{R}}{R} = \text{const.}$ Acesta este coeficientul relației lui Hubble

viteză-distanță. În virtutea principiului cosmologic perfect, el trebuie să fie independent de timp, pentru că determină mărimea deplasării spre roșu a galaxiilor, cantitate observabilă. De aici, R este determinat pînă la o constantă de integrare, care este tocmai constanta lui Hubble, măsurată empiric. Elementul ds^2

¹ Vezi Anexa, IV, ec. 41; r, θ, φ , sint coordonatele observatorilor fundamentali (constante), iar t este timpul cosmic, identic cu timpul propriu al fiecăruia dintre acești observatori.

astfel obținut¹ corespunde metricii lui de Sitter din cosmologia relativistă, scrisă într-un sistem de coordonate în care Universul nu mai apare static, ci staționar, după expresia de care se servea Robertson, în 1928, pentru a exprima una din cele mai remarcabile proprietăți ale sale². Dar interpretarea fizică a metricii este cu totul diferită în cele două teorii: în relativitatea generalizată, metrica (IV, 41) este o soluție a ecuațiilor câmpului cu $\Lambda = 3H_0^2$, pentru spațiul vid; este deci dificil să o aplicăm unui Univers real, pentru că ipoteza „materiei cosmice”, pe care în 1917 de Sitter o considera îndoielnică, a fost verificată mai târziu de observația astronomică. În schimb, în teoria stării staționare, nu există nici o legătură necesară între forma geometrică și densitatea de materie-energie prezentă în spațiu-timp. Metrica lui de Sitter este aprioric compatibilă cu orice distribuție de materie-energie care satisface principiul cosmologic perfect.

Cu toate că nu are în mod necesar nici o legătură cu proprietățile materiei, metrica staționară permite totuși să se definească cu precizie mărimile de interes cosmologic susceptibile de a fi măsurate efectiv și, în consecință, permite să se pregătească confruntarea dintre teorie și observație. Unul din avantajele teoriei este că ea nu întâmpină nici o dificultate de principiu în interpretarea unor observații îndepărtate. Aceasta rezultă din eliminarea „istoriei cosmice”: fiecare nebuloasă individuală îmbătrânește și are o vîrstă determinată în timpul propriu al observatorului, dar ansamblul nebuloaselor nu are vîrstă. Timpul $\frac{1}{H_0}$ care figurează

în metrică definește o vîrstă medie, constantă, a nebuloaselor observabile, dar nu o vîrstă a structurii cosmice în întregime. În consecință, cu toate că observăm nebuloasele într-o stare în care ele nu se mai află acum, nu trebuie să ținem cont de acest fapt cînd efectuăm observații asupra unui număr suficient de mare de obiecte, căci într-o parte oarecare a volumului spațio-temporal accesibil privirii noastre se găsește întotdeauna aceeași proporție de galaxii de orice vîrstă. Celelalte teorii care postulează o evoluție cosmică globală nu pot să evite introducerea mai mult sau mai puțin arbitrară a unor ipoteze suplimentare. Într-adevăr criteriile de distanță care servesc la sondarea spațiului devin criterii de vîrstă, iar separarea între influența pe care o are asupra fenomenelor observate, distanța considerată în spațiu și distanța considerată în timp devine pînă la urmă incertă.

¹ Vezi Anexa, IV, 2.

² Citat în R. C. TOLMAN, *Relativity, Thermodynamics, ..., op. cit.*, p. 348.

Calculul decalajului spectral nu prezintă nici o dificultate particulară. Formula acestuia este foarte simplă: decalajul este exact proporțional cu distanța-coordonată a obiectului (însă nu cu distanța măsurată, care, spre deosebire de prima, nu este independentă de timp). Luminozitatea aparentă a galaxiilor se calculează cu ajutorul unei formule analoage celei din cosmologia relativistă.

O deosebire importantă față de formula relativistă apare însă în ceea ce privește numărul de nebuloase cuprinse în stratul sferic $(r, r + dr)$ și a căror lumină ajunge la observator într-un moment dat. Într-adevăr, în timp ce în cosmologia relativistă densitatea medie este constantă în elementul de *volum-coordonată* $r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi$ și, în consecință, descrește cu timpul în câmpul de observație, în T.S.S. această densitate este constantă în elementul de *volum propriu* al observatorului, $\exp(-3Ht)r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi$. Această deosebire oferă în principiu un criteriu de discriminare prin intermediul observațiilor între cele două teorii, dar criteriul este practic inaplicabil, cel puțin până în momentul în care datele radioastronomice vor fi mai complete și vor putea fi interpretate cu mai multă siguranță.

Este clar că ideea generării continue de materie, una dintre cele mai frapante idei din teoria stării staționare, depășește cadrul conceptelor strict structurale; ea este ontologică și genetică. De aceea, locul acestei noțiuni în cosmologia modernă va fi discutat în acea parte a cărții de față rezervată problemelor ireversibilității timpului și ale cosmogoniei. Privind astfel problema, va reieși clar că originalitatea autorilor acestei teorii provine în special din aceea că ei au abordat mai direct decât alții o problemă pe care cosmologia, ba chiar fizica nu o pot ignora și au găsit o soluție exact opusă, chiar antinomică, celei pe care o dăduseră predecesorii lor pe calea îndrăzelii cosmogonice, Lemaitre și Milne.

Dar ceea ce trebuie să ne rețină îndeosebi atenția pentru moment este faptul că în teoria stării staționare generarea continuă este o consecință a axiomelor și că ea apare analitic legată de soluția problemei structurii. În felul acesta, structura și geneza se află mai strâns asociate decât au fost vreodată, dar această asociere face parte din logica întregii cosmologii moderne, care a plecat de la încercarea de a suprima orice deosebire conceptuală între structura metrică a Universului și conținutul său material și care a descoperit pe drum că structura metrică era variabilă...

Am arătat mai sus că, în teoria stării staționare, care impune principiul cosmologic perfect unui Univers în expansiune, generarea continuă este o consecință inevitabilă. Dar această consecință pune imediat probleme dificil de rezolvat, mai ales

problema modalităților generării. În această privință nu ne putem aștepta la nici un ajutor din partea observației directe, dată fiind extrema încetineală a procesului la scara măsurătorilor umane; principiul cosmologic perfect este deci, după metoda teoriei, singura resursă pe care o avem la dispoziție. De fapt, atunci când își pun problema fizicii generării Bondi și Gold introduc în discuție, poate fără vreo necesitate absolută, elemente care alterează oarecum puritatea deductivă a dezvoltării lor. Principiul cosmologic perfect nu le spune dacă generarea este un fenomen asociat cu prezența materiei, materia nouă formându-se de preferință în vecinătatea maselor existente (deci în centrul stelelor, așa cum credea Jordan, sau al galaxiilor, așa cum credea Jeans), sau dacă generarea este un proces neafectat de prezența maselor existente (în care caz materia nouă ar lua naștere în cea mai mare parte a imensului vid intergalactic). Aceasta revine, gîndesc ei, la a alege între două tendințe ale cosmogoniei, ambele prezente la autorii contemporani :

1. Unii sînt de părere că principalul proces cosmogonic este de natură centrifugă: explozia stelelor, „evaporarea” galaxiilor și a roiurilor de galaxii.

2. Ceilalți consideră, dimpotrivă, că principala dezvoltare este centripetă: condensarea materiei difuze în stele și galaxii, creșterea stelelor prin acreție etc.

Or, aplicată problemei generării, soluția 1 conduce la rezultate incompatibile cu certitudinile dobîndite de astrofizică: dacă stelele ar furniza materia nouă cu o viteză cerută de staționaritate, atunci le-am vedea evoluind mult mai repede. Trebuie deci să acceptăm soluția 2 și să presupunem că materia este generată uniform în tot spațiul, cu o viteză independentă de prezența materiei preexistente¹.

În lucrarea *Cosmology*, Bondi leagă mai direct de principiul cosmologic perfect ipoteza după care generarea are loc uniform și nu face nici o aluzie la conflictul dintre cosmogonia centrifugă și cosmogonia centripetă. El se mărginește să spună că dacă noua materie s-ar forma acolo unde materia este deja densă, atunci ea nu ar apărea tocmai acolo unde existența sa este cerută de principiul cosmologic perfect: în spațiile intergalactice, unde noi galaxii trebuie să le înlocuiască în mod constant pe cele care, datorită expansiunii, dispar la orizontul observației².

Dar rezolvarea acestei prime probleme face să apară imediat alta: care sînt caracteristicile cinematice ale materiei non gene-

¹ H. BONDI, T. GOLD, *mem. cit.*, p. 265.

² *Cosmology, op. cit.*, pp. 149—150.

rate? Dacă s-ar putea presupune că materia nouă este indusă într-un fel oarecare de materia veche, atunci i s-ar putea atribui viteza acesteia, dar deoarece lucrurile nu stau astfel, trebuie să se dea problemei un răspuns specific și motivat. Or, discuția face să apară imediat o consecință interesantă și încurajatoare. Dacă se presupune, într-adevăr, că vitezele particulelor generate trebuie să fie distribuite la întâmplare, se observă că cinematica lor definește o direcție preferențială a spațiu-timp-ului, în jurul căreia se distribuie vitezele particulelor. Într-adevăr, singura distribuție de probabilitate invariantă la transformările Lorentz este cea în care fasciculul de traiectorii este divergent¹.

Această neinvarianță este surprinzătoare și contrarie principiilor teoriei relativității. De fapt, ea este însă în conformitate cu cerințele cosmologiei, prin urmare ale expansiunii, și se exprimă în cosmologia relativistă prin principiul lui Weyl. Este deci natural să se identifice direcția mișcării spațio-temperale a particulelor nou generate cu cea a mișcării *substratum*-ului. Astfel, T.S.S. are avantajul asupra altor teorii de a putea asocia direcția preferențială a spațiu-timpului cu un proces fizic fundamental. Se poate presupune că viteza particulelor nou generate într-un punct este exact identică cu viteza observatorului fundamental situat în acest punct, dar viteza acestui observator poate de asemenea să fie o medie în jurul căreia se distribuie vitezele particulare ale particulelor noi. Aceasta revine la a pune problema temperaturii materiei noi; absența oricărei radiații observabile provenind din spațiile intergalactice permite să se fixeze o limită superioară pentru această temperatură, care fără nici o contradicție poate fi presupusă nulă.

Acestea sînt principalele probleme structurale pe care le ridică generarea continuă în teoria stării staționare. Urmează după aceea altele, mai fizice, și mai direct legate de cosmogonie, de exemplu: care este starea electrică a materiei nou-născute? Aplicarea legilor fizice arată că ea nu se poate abate mult de la neutralitatea electrică, deoarece în caz contrar excesul de sarcină ar produce efecte care nu sînt observate în fapt. Ce fel de atomi sînt generați²? Supraabundența hidrogenului sugerează prin ea însăși că particulele noi nu sînt nuclee complexe. Rămîn atunci trei posibilități:

- 1 generare separată, cu aceeași viteză, de protoni și electroni;
- 2 generare de neutroni; și
- 3 generare de protoni și electroni, legați în atomi de hidrogen.

¹ H. BONDI, T. GOLD, *mem. cit.*, §§ 4, 2, p. 266.

² Considerații termodinamice simple cer ca materia să fie generată sub o formă cu entropie scăzută, adică mai curînd sub formă de masă decît sub formă de radiație, *Cosmology, op. cit.*, p. 144.

Soluția 2 este mai puțin probabilă decât celelalte, dat fiind faptul că neutronii nu sînt stabili și că energia eliberată prin dezintegrarea lor în protoni și electroni ar putea da naștere la fenomene care să depășească pragul observabilului. Pornind de la acest nucleu de ipoteze, asociate destul de direct cu teoria structurală, se poate construi un întreg sistem cosmogonic, care este mai curînd opera lui Hoyle decât a lui Bondi și Gold. Acest sistem va fi prezentat într-un capitol ulterior.

C. Limitele teoriei stării staționare

Oricît de elementară ar fi expunerea precedentă, ea este suficientă pentru a scoate în evidență limitele teoriei stării staționare, luată în forma sa originală. După ce au afirmat dependența fizicii de cosmologie, autorii acestei teorii nu pun totuși în practică această idee. Nici un sistem de legi fizice nu rezultă din teoria lor cosmologică, a cărei compatibilitate cu teoriile existente, chiar dacă nu este formal exclusă la scară locală, este în orice caz foarte departe de a reieși de la sine. În cosmologia relativistă ecuațiile cîmpului asigură, este adevărat că în condiții destul de specifice, legătura între fizica cosmică și fizica locală. După ce s-a debarasat de conceptele și de modul de gîndire din teoria einsteiniană, Milne s-a hotărît să abandoneze complet această teorie, asumîndu-și în schimb sarcina de a reconstrui fizica pe baze noi. El a clădit pe această bază o dinamică nouă, urmată de o teorie a gravitației și de o teorie a electromagnetismului. Fără îndoială, succesul, apreciat în diferite feluri, al acestei acțiuni și absența oricărui test experimental decisiv îndemnau la prudență în ceea ce privește însăși posibilitatea unei încercări de acest fel.

Dar se putea spera de asemenea că principiul cosmologic perfect ar putea avea consecințe determinate asupra legilor fizicii întrucît autorii teoriei stării staționare considerau acest principiu capabil să asigure repetabilitatea fără restricții a experiențelor. Or, dacă el conduce incontestabil la o teorie a Universului care frappează prin claritatea și simplitatea sa și prin posibilitățile de confruntare directă cu observația pe care le oferă, nu se poate totuși spune că ar fi aruncat pînă acum o lumină nouă asupra formei sau conținutului legilor fizice fundamentale.

Fizicianul cel mai apropiat în anumite privințe de gîndirea lui Bondi și Gold, Fred Hoyle, este și acela care a apreciat poate cel mai bine toate dificultățile pe care le implică aplicarea principiului

cosmologic perfect la determinarea legilor fizice și a evaluat în ce măsură se ciocnește metoda lor cu uzanțele cele mai solide ale metodologiei fizice. Vom vedea mai departe că, în ceea ce-l privește, Hoyle acceptă rezultatele lui Bondi și Gold — metrica cosmică staționară și generarea de materie — dar nu și principiile lor și că el vrea să regăsească aceste rezultate pornind de la ecuațiile lui Einstein, modificate adecvat, și nu prin deducere din principiul cosmologic perfect. După el, există două obstacole în calea deducerii unei teorii fizice pornind de la principiile lui Bondi și Gold :

a. Mai întâi, „cuplajul” foarte puternic dintre Universul îndepărtat și fizica locală, implicat de principiul lui Mach, nu permite să se conceapă o experiență total dirijată. Pe de altă parte, o teorie bazată pe aceste principii ar trebui să țină cont de forțele electromagnetice și de forțele nucleare, care desigur nu sînt lipsite de legătură cu proprietățile metrice ale materiei.

b. Principiul cosmologic perfect este satisfăcut numai la scară mare și nu local. Dar, întreabă Hoyle, pe ce considerații trebuie să ne sprijinim pentru a explica de ce acest principiu nu este satisfăcut riguros și pentru a determina cu precizie la ce scară este el valabil?¹

Dealtfel, Bondi și Gold sînt de acord într-o anumită măsură cu toate acestea, fără a aproba totuși fără rezerve încercarea lui Hoyle². În particular, ei recunosc caracterul statistic al principiului cosmologic perfect, ceea ce interzice practic utilizarea sa pentru deducerea unei legi locale de mișcare pentru o particulă „liberă”, independentă de expansiunea generală.

Dificultatea de a obține din principiul cosmologic perfect — care nu este de fapt perfect decît la scară cosmică și care, dacă este aplicat local, nu interzice în mod formal nimic — legi care trebuie să fie, dimpotrivă, riguroase la scara locală, nu este decît una din formele pe care le ia pentru fizica modernă enigma generală a acordului dintre ideea clasică de lege, pe care nu o poate abandona, și necesitatea din ce în ce mai imperioasă pe care o simte de a face un loc din ce în ce mai mare, în conceptele sale, noțiunilor derivate mai mult sau mai puțin din ideea naivă de hazard.

Ecuațiile relativiste ale cîmpului sînt riguroase și permit deduceri numerice de o precizie incredibilă. Planeta Mercur, obiect mai puțin decît infinitesimal la scara cosmică, dacă putem spune așa,

¹ F. HOYLE, *On the Cosmological Problem*, Monthly Notices Royal Astr. Soc., 109, 3, 1949, §§ 4, 2, pp. 368—371.

² Totuși, rezervele formulate de Bondi și Gold față de teoria lui Hoyle (*mem. cit.*, p. 269) dispar aproape complet în *Cosmology*, unde Bondi pînă la urmă are mai curînd tendința să scoată în evidență avantajele punctului de vedere al lui Hoyle (pp. 152—156).

nu este o entitate teoretică obținută prin analiză statistică, ci un obiect real, bine individualizat. Deplasarea reziduală a periheliului său, evaluată prin observație la patruzeci și două de secunde de arc pe secol, nu este o deplasare medie și nu își datorează valoarea sa mică unei medieri. Ceea ce decide asupra valorii relative a teoriei newtoniene și a teoriei einsteiniene a gravitației este previziunea riguroasă a mișcării unui corp individual. Este clar că orice teorie a mișcării care ar vrea să se substituie acestora ar trebui ca, aplicată aceluiasi fenomen individual sau unuia analog, să dea rezultate cel puțin la fel de bune. Dar, între scara cosmică, unde principiul cosmologic perfect își impune rigoarea, și scara în care legile dinamicii își manifestă precizia lor uimitoare există de fapt întregul domeniu al științei efective a fenomenelor astronomice. În această știință însăși natura problemelor și a mijloacelor de care dispunem pentru a le rezolva impun numărători, medieri, diverse metode de aproximație, în cadrul ei, obiectul individual se lasă cu greu sesizat în evoluția sa singulară, fie că el apare în sine ca un conglomerat parțial structurat sau un cvasiindivid (o galaxie, o nebuloasă difuză, un roi de stele), fie că, bine individualizat în sine, el nu pune la dispoziție istoria sa decît într-un anonim în care se află însoțit de mulțimea strămoșilor sau vecinilor săi, într-o schemă sau o clasificare mai mult sau mai puțin imprecisă în care a putut fi situat. Astfel, o stea, al cărei destin unic — care ar putea fi desigur cunoscut cu toată rigoarea de către un astronom care s-ar deosebi de observatorul uman prin poziția sa diferită în spațiu și prin durata mai lungă a observației sale — nu apare pentru noi decît ca o linie punctată pe diagrama culoare-magnitudine; o anume lacună în traseu însemnînd poate viața sau moartea unui sistem planetar, întreaga istorie a unei alte umanități, civilizații milenare, abia discernabile în privirea noastră de miopi, care înregistrează o vîlvătaie de cîteva zile, chiar de cîteva ore sau de cîteva minute.

Cu toate că, asociînd repetabilitatea experiențelor cu principiul cosmologic perfect, autorii T.S.S. au lăsat să se creadă că rigoarea acestui principiu nu este străină de rigoarea legată de previziunea unei mișcări punctuale, ei nu au exprimat pînă acum concret această relație, nici nu au explicat cum ar putea fi ea împăcată cu interpretarea statistică a principiului cosmologic perfect.

Ar fi dealtfel nedrept să facem din aceasta o vină numai teoriei stării staționare și mai ales să găsim aici motive pentru a prefera cosmologia relativistă, căci și în interiorul teoriei relativității se produce același salt brusc de la un tip de adevăr la altul, atunci cînd se trece de la problema planetară la problema cosmologică.

Deducerea elementului ds^2 al lui Schwarzschild, care determină mișcarea planetelor, se bazează — ca întotdeauna când se aplică o lege la un caz particular — pe ipoteze simplificatoare, dar aceste ipoteze nu sînt diferite de cele pe care se baza deducerea newtoniană a legilor lui Kepler. Ele nu au nimic statistic și mai curînd urmăresc să elimine partea de hazard din mișcarea reală, decît să o includă în deducție. Dimpotrivă, atunci cînd cosmologia relativistă, pentru a putea obține soluțiile cosmice ale ecuațiilor cîmpului, asimilează materia din Univers unui „fluid perfect”, adică omogen și continuu, în timp ce observația arată clar o remarcabilă eterogenitate și o considerabilă discontinuitate în distribuția maselor și a radiației, este clar că ipoteza ar fi pur și simplu absurdă dacă nu ar fi însoțită implicit de ideea că hazardul, cu alte cuvinte absența oricărei arhitecturi și a oricărei organizări la scară mare, este echivalent, din punct de vedere conceptual și matematic, cu continuitatea și omogenitatea considerate efectiv. În legătură cu aceasta, analogia cu un *gaz* sau, după nevoie, cu un *lichid* poate oferi desigur justificări serioase, căci studiul experimental și teoretic al acestor obiecte familiare ale fizicii atestă valoarea acestei echivalențe din punct de vedere metodologic. Dar verificarea experimentală strictă la care pot fi supuse conceptele hidrodinamicii terestre lipsește complet atunci cînd este vorba de „fluidul cosmic”, de „gazul de galaxii” sau de „liniile de curent” ale Universului.

Unul dintre meritele, dar în același timp poate și una dintre părțile slabe pe care le are teoria stării staționare este faptul că pune mai bine în lumină acest contrast dintre punctul de vedere cosmologic și punctul de vedere local, absența oricărei similitudini veritabile între determinismul cosmologic (chiar conceput în modul cel mai riguros) și determinismul fizic. Lecția dă de gîndit, desigur, avînd în vedere că la celălalt orizont, acela al microfizicii, au apărut de mai mult timp învățăminte analoage.

D. Teoria inerției a lui D. W. Sciama

Este natural și, dealtfel, în conformitate cu propria sa opinie, să situăm cercetările lui D. W. Sciama în cadrul teoriei stării staționare. Cu toate acestea în problematica generală a cosmologiei moderne, ca și în problematica mai restrînsă a acestei teorii, modul său de a vedea lucrurile tinde să izoleze anumite tipuri de probleme și să scoată în relief anumite teme epistemologice caracterizate de o deosebită claritate. Ceea ce îl interesează în

primul rînd este căutarea unei acțiuni directe a ansamblului materiei cosmice asupra fenomenelor locale, căci pentru el această acțiune directă este nu numai reală, ci și esențială și orice teorie fizică coerentă și completă ar trebui să țină cont de ea. Viziunea lui Sciama este în mod esențial realistă și sintetică. Legile exprimă o acțiune reală care trebuie înțeleasă mergînd de la totalitate la element. În schimb, problemele legate de structura metrică trec pe planul al doilea, iar logica înfățișării se estompează. În ceea ce privește geometria spațiu-timp-ului, teoria inerției a lui Sciama, în starea sa actuală, se bazează pe ipoteze simplificate, care nu sînt compatibile exact cu modelele cosmologiei, cu toate că ele implică expansiunea ca pe o condiție indispensabilă.

Găsim deci la Sciama, oarecum în stare pură, versiunea realistă a cosmologiei moderne. Din cauza postulatelor lor epistemologice și din cauza rolului pe care îl atribuie principiului cosmologic perfect, Bondi și Gold nu ajung să se debaraseze complet de idealismul milnean, iar Hoyle, care este departe de a acorda aceeași importanță logicii aparențelor, este totuși abătut de la un realism simplu și direct și mai ales de la monism de multe gînduri ascunse de natură filozofică și estetică, așa cum vom vedea. Pentru Sciama, dimpotrivă, însuși conceptul de cosmologie este analitic legat de cel al unei acțiuni a totalității asupra elementului, întrucît pentru el, cele trei „legi” ale cosmologiei se pot enunța astfel :

1. Universul în întregime exercită forțe apreciabile asupra materiei locale.

2. Procesele locale ireversibile sînt legate de expansiunea ireversibilă a Universului.

3. Conținutul Universului are tot atîta semnificație ca și legile de care el ascultă¹.

Odată explicitată clar prima „lege” și avînd în vedere paradoxul lui Olbers — căruia Sciama, ca toți autorii care se reclamă a fi adepți ai teoriei stării staționare, îi atribuie o importanță capitală — este destul de ușor de arătat cum și în ce condiții ar putea o teorie a inerției să satisfacă principiul lui Mach : ar fi suficient ca inerția corpului de probă să fie produsă de accelerația relativă a materiei înconjurătoare, dar în așa fel încît inerția indusă în corpul de probă de către un element material să fie invers proporțională cu distanța r de la acest element pînă la corpul de probă.

¹ D. W. SCIAMA, *Les trois lois de la Cosmologie*, trad. L. Bouche, Annales de l'Institut H. Poincaré, XVII, 1, 1961, pp. 15—24.

Într-adevăr, dacă acțiunea fizică (oarecare) exercitată de elementul material situat la distanța r se exprimă ca funcție de $\frac{1}{r^n}$,

se observă că valoarea lui n are o influență enormă asupra aspectului cosmologic al acțiunii în cauză. Dacă n este suficient de mare, acțiunea corpurilor îndepărtate devine neglijabilă, iar dacă n este egal cu 1, această acțiune devine, dimpotrivă, preponderentă. Este ceea ce reiese clar din tabloul întocmit de Sciama pentru $n = 1, 2, 3, 4$. Pentru $n = 4$ și $n = 3$, acțiunea mediului înconjurător apropiat o depășește pe cea a lumii îndepărtate. Lucrurile nu mai stau așa pentru $n = 2$, caz deosebit de important, pentru că el corespunde legii clasice a gravitației și legii de propagare a radiației; dacă $n = 2$, materia îndepărtată contează deja mai mult decât materia apropiată. Aceasta este originea paradoxului lui Olbers, care pentru Sciama, ca și pentru Bondi, nu poate fi rezolvat decât prin acceptarea expansiunii. Trebuie totuși să facem o precizare importantă, și anume că, dacă unei distribuții omogene de materie în jurul corpului de probă i se adaugă accidental un corp foarte apropiat, atunci legea în $\frac{1}{r^2}$ face ca acțiunea sa să

fie preponderentă (astfel atracția Soarelui și radiația sa exercită asupra Pământului o acțiune atît de puternică încît ea le elimină practic pe toate celelalte). În schimb, în cazul în care $n = 1$, nu numai că acțiunea regulată și uniformă a materiei îndepărtate o depășește foarte mult pe aceea a materiei apropiate, dar chiar și acțiunea excepțională a unui corp foarte apropiat devine neglijabilă.

Deci, dacă acțiunea care induce inerția în corpurile de probă scade cu distanța ca $\frac{1}{r}$, această inerție nu este practic modificată de accelerațiile corpurilor celor mai apropiate. Este deci natural ca inerția să apară ca depinzînd numai de corpul inert, excluzînd orice acțiune a mediului înconjurător. Aceasta ar explica faptul că fondatorii dinamicii au crezut că pot formula o deosebire de natură între forțele de inerție și forțele de gravitație, cînd în realitate singura diferență ar fi cea care îl deosebește pe 1 de 2...

Teoria inerției construită de Sciama conduce efectiv la a pune inerția corpului de probă pe seama unei „inducții” rezultate din accelerarea materiei înconjurătoare, această acțiune descrescînd cu distanța r ca $\frac{1}{r}$. În felul acesta, principiul lui Mach este com-

plet exprimat. Într-adevăr, în dinamica clasică, atunci cînd un corp este accelerat în raport cu un sistem de inerție, apar forțe „fictive” de inerție care completează descrierea acțiunilor la care corpul este supus. Spunem „fictive” pentru că dinamica clasică nu le atribuie ca celorlalte caracterul unor forțe rezultînd din interacția cu mediul înconjurător. Or, experiența arată că sistemele de inerție sînt în repaus față de materia îndepărtată (spre exemplu planul de oscilație al pendulului lui Foucault rămîne fix în raport cu stelele). Principiul lui Mach cere ca accelerația relativă a corpului de probă în raport cu această materie, presupusă global în repaus, să fie cea care induce forțele de inerție care acționează asupra corpului de probă.

Cum a fost obținut acest rezultat din punct de vedere tehnic? Nu vom da decît principiul soluției, care este destul de complicată și, după însăși mărturisirea autorului, incompletă. Oricare ar fi viitorul acestei încercări, ea este interesantă din punct de vedere epistemologic și istoric și ilustrează bine anumite idei dominante ale cosmologiei moderne¹. Sciama crede că poate obține soluția problemei într-o teorie a gravitației analoagă matematic cu teoria maxwelliană a electromagnetismului. Pornind de la teoria clasică, în care forța de gravitație derivă dintr-un potențial scalar, Sciama adaugă un potențial vectorial, definind apoi ambele potențiale prin aceleași integrale care definesc potențialele corespunzătoare din electromagnetism, masa gravitațională luînd locul sarcinii electrice. Cîmpul gravitațional devine cîmpul „gravoelectric” (pentru a sublinia analogia formală), adăugîndu-se și un cîmp „gravomagnetic” ale cărui efecte se manifestă în rotații.

Analogia maxwelliană sugerează deci că cîmpul gravitațional nu mai derivă dintr-un potențial scalar unic. Expresia sa formală conține un termen proporțional cu derivata în raport cu timpul a potențialului vectorial; aici se află originea forței de inerție.

Dacă nu ar exista expansiunea Universului, potențialul produs de ansamblul maselor din Univers ar fi infinit (raționamentul care conduce la paradoxul lui Olbers este valabil cu atît mai mult pentru o acțiune care variază ca $\frac{1}{r}$). Valoarea sa efectivă, finită, se obține extinzînd integrala care îl definește la domeniul interior.

¹ D. W. SCIAMA, *On the Origin of Inertia*, Monthly Notices of the Royal Astr. Soc. 1, 1953, pp. 34—49; o versiune simplificată este propusă în *The Unity of the Universe*, op. cit., pp. 108—120.



al sferei pe care corpurile au o viteză de recesiune egală cu cea a luminii. De aici rezultă o relație numerică între mărimi care pot fi determinate empiric¹, constanta gravitațională γ , constanta lui Hubble H_0 și densitatea medie a materiei din Univers ρ :

$$\frac{\gamma \rho_0}{H_0^2} = 1.$$

Această relație numerică este verificată efectiv cu o aproximație satisfăcătoare, ținând cont de ordinele de mărime extrem de diferite ale numerelor în cauză. Aceasta este, așa cum vom vedea, tocmai una din relațiile numerice remarcabile pe care anumiți cosmologi au crezut că-și pot baza raționamentele. Este într-adevăr singurul punct de incidentă cu cîmpul experimental al teoriei lui Sciama.

Indiscutabil, această teorie are avantajul de a pune în practică direct principiul lui Mach, atenuînd într-o oarecare măsură (prin

studiul consecințelor unei legi în $\frac{1}{r}$) ceea ce este insolit în aserțiunea după care galaxiile îndepărtate sînt într-un fel răspunzătoare de mișcarea care-i face pe călătorii dintr-un autobuz să cadă unii peste alții atunci cînd șoferul frînează prea brusc... Teoria are totuși inconveniente, de care autorul este conștient: analogia cu teoria lui Maxwell nu este valabilă decît în primă aproximație. Mai mult, pentru ca teoria inerției să fie într-adevăr satisfăcătoare, ar trebui ca forțele să derive nu dintr-un potențial vectorial, ci dintr-un potențial tensorial de ordinul doi. În acest caz ar putea fi luată în considerație și curbura spațiului, dar formalismul ar deveni mult mai complicat. Cu toate acestea, numai în felul acesta s-ar putea înțelege în mod exact raportul dintre teoria inerției a lui Sciama și relativitatea generalizată, raport care, după Bondi, rămîne „obscur”.

Teoria inerției a lui Sciama suscită și unele remarci de ordin istoric. Ea oferă, într-adevăr, exemplul — fără îndoială că nu unicul — unei idei și al unei teme de cercetare care, după o uitare îndelungată și aparent totală, se ivește în împrejurări cu totul noi. Căci, ceea ce face Sciama este să reînvie după o perioadă de optzeci de ani, sărind peste perioada cea mai fecundă din întreaga istorie a fizicii, o încercare nefericită și uitată a lui Félix

¹ Folosim, pentru comoditate, notațiile din Anexa noastră și nu pe cele ale lui Sciama.

Tisserand¹. În 1872, ecuațiile lui Maxwell aveau vîrsta de opt ani, iar Tisserand avea douăzeci și șapte de ani. Era natural ca un spirit tînăr și îndrăzneț să fi dorit să încerce marea sinteză care ar fi reunit într-o aceeași teorie principalele tipuri de interacție fizică. Dar Tisserand nu a reușit să deducă, așa cum spera, mișcarea periheliului planetei Mercur și nici vreun alt fapt observabil nou. Încercarea sa nu a avut urmări. Atunci cînd proiectul său a fost reînviat, perspectiva se transformase, iar renașterea cosmologiei schițase un fundal cosmic care lipsea în secolul precedent, oferind în același timp posibilități și speranțe noi pentru controlul empiric.

Sciama voia să obțină din teoria sa asupra inerției o soluție completă și definitivă a „paradoxului lui Langevin”, arătînd că întîrzierea pe care o suferă ceasul călătorului în timpul cuprins între plecarea și întoarcerea sa rezultă în cele din urmă din mișcarea călătorului în raport cu ansamblul materiei cosmice, ceea ce exclude, în particular, posibilitatea ca ceasul terestru să fie acela care întîrzie în raport cu ceasul călătorului. Analiza precisă a „paradoxului” lui Langevin, în vederea separării problemelor adevărate pe care le ridică de cele false, nu își are însă locul în prezenta lucrare.

Mai recent, Brans și Dicke au făcut o nouă încercare, înrudită pînă la un anumit punct cu cea a lui Sciama, de a stabili o teorie care să explice apariția forțelor de inerție din acțiunea maselor îndepărtate din Univers asupra corpului de probă și care, în consecință, să satisfacă integral principiul lui Mach. Acest rezultat, obținut printr-o metodă variațională, este însoțit de o modificare a ecuațiilor lui Einstein. În teoria lui Dicke, ca și în teoriile altora (Dirac, Jordan), de care va fi vorba mai departe, „constantă” gravitațională γ suferă o scădere seculară. Modelele robertsoniene de univers compatibile cu ecuațiile lui Dicke diferă puțin de modelele corespunzătoare ale lui Friedman. Dimpotrivă influența variației lui γ asupra evoluției stelelor (luminozitatea lor depinde de γ la puterea a 7-a) ar trebui, după Dicke, să permită o ajustare mai bună a scării timpului cosmologic cu cea a proceselor astrofizice².

¹ În memoriul său din 1953, Sciama nu-l menționează pe Tisserand; îl citează în schimb în cartea sa din 1959. Este deci posibil ca Sciama să nu fi observat decît mai tîrziu că avea un precursor. Această coincidență prezintă un interes și mai mare din punct de vedere istoric dacă se dovedește că nu a fost intenționată.

² C. BRANS, R. H. DICKE, *Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation*, Phys. Rev., 24, 1961, pp. 925—935; R. H. DICKE, *Implication to Cosmology of Galactic Evolution Rates*, Rev. Mod. Phys., 34, 1, 1962, pp. 110—122.

E. Teoria stării staționare : versiunea nedeductivă a lui Fred Hoyle

Numele lui Hoyle este mai popular decât cele ale lui Bondi, Gold sau Sciama. Reputația lui Hoyle în lumea științei a fost asigurată nu numai de numeroasele și remarcabilele lucrări de astrofizică, ci și de faptul că, încă de mai mulți ani, acest om de știință a căutat și a găsit contactul cu „marele public cultivat”. Conferințele radiofonice, cărțile de popularizare și romanele sale i-au asigurat în Marea Britanie, apoi în alte țări un renume. Alăturat din 1948 teoriei stării staționare a lui Bondi și Gold, sau mai curînd conținutului cosmologic al acestei teorii, Hoyle a devenit cel mai constant și cel mai hotărît apărător al ei. Simultan cu Sciama, el a contribuit cu lucrări importante la dezvoltarea cosmogoniei. Pînă la urmă a ajuns chiar să se răspindească părerea că teoria stării staționare este teoria lui Hoyle, ceea ce nu este decât parțial adevărat. Într-adevăr, în afară de faptul că concepția inițială revine lui Bondi și Gold, Hoyle nici nu a adoptat măcar toate ideile acestor autori; el a criticat chiar destul de viguros metoda lor, după cum am văzut.

În ceea ce-l privește, el abordează deci problema cosmologică cu idei diferite și cu o metodă diferită. Dacă regăsește totuși modelul staționar, o face pe o altă cale. Pentru el, principiul cosmologic perfect nu are deloc aceeași importanță ca pentru Bondi și Gold; acest principiu de natură epistemologică cedează în mod vizibil în gîndirea sa locul conceptului cosmogonic de *generare continuă*.

Pentru a ajunge la acest rezultat desigur frapant, pentru că lovește în obișnuințele cele mai solide ale gîndirii din știința pozitivă, Hoyle folosește o metodă de fapt mult mai tradițională decât cea a lui Bondi și Gold și mult mai puțin diferită de cea a cosmologiei relativiste. Într-adevăr, el acceptă ecuațiile lui Einstein și se mărginește să le aducă o modificare care nu are efect decât la scară cosmică. Această metodă nu este absolut diferită de cea a cosmologilor care păstrează în ecuații termenul cosmic în Λ , în ciuda recomandării lui Einstein, și care modifică ipotezele suplimentare general admise în cosmologia relativistă, fără ca observația să le ofere vreun motiv direct pentru a face aceasta.

Astfel, într-un anumit fel, cu toate că temperamentul său științific pare să se opună acestei interpretări, opera lui Hoyle marchează în cosmologia nouă o anumită întoarcere la „înțelepciune” adică la ecuațiile lui Einstein. Trebuie însă să facem cu grijă dis-

tineția între metodologia și filozofia lui Hoyle, deși acest ultim cuvânt nu este prea adecvat, în măsura în care ne face să ne gândim la o reflecție metodică și sistematică. Pe cât este metodologia de pozitivă și de tradiționalistă, pe atât de puțin este filozofia. Prin urmare, dacă la Hoyle există o relație între filozofie și ideile cosmologice, aceasta este de o cu totul altă natură decât la Milne sau Bondi. Să spunem că este vorba mai curînd de o poetică a cosmosului, care, dacă orientează gîndirea cosmologică a lui Hoyle pe anumite căi și îl face să prefere o anumită imagine a Universului sau unele mari procese astrofizice, nu îi impune totuși nici o obligație și nici o interdicție metodologică.

Această filozofie se întîlnește într-o formă difuză în memoriile tehnice ale lui Hoyle și ceva mai net schițată în lucrările sale de popularizare. Fără îndoială însă, ea se manifestă cu cea mai mare strălucire în lucrările sale de ficțiune.

Este vorba, în același timp, de un materialism și de un naturalism. Universul este etern și își este suficient sieși. Legile naturii și existența lui efectivă nu pot fi separate și, în această privință, gîndirea lui Hoyle nu se deosebește de cea a lui Sciama. Totuși, materia se reînnoiește fără încetare și formele sale de existență sînt infinite. Este o absurditate să o concepem ca inertă și uniformă¹.

Nu există nici o îndoială că dincolo sau dincoace de motivele pe care putea să le aibă astrofizicianul pentru a prefera teoria stării staționare, în ralierea lui Hoyle un rol important l-a jucat acest motiv filozofic sau estetic. În primul memoriu pe care l-a scris asupra acestui subiect, tema dominantă nu este, ca în cel al lui Bondi și Gold, cerința epistemologică a repetabilității experiențelor și principiul cosmologic perfect, ci generarea continuă, care la predecesorii săi nu era decât o consecință surprinzătoare, dar inevitabilă a principiilor lor. Încă din primele rînduri ale articolului lui Hoyle, această idee se impune ca și cum ar avea, prin ea însăși, o putere intrinsecă de seducție și citirea acestui articol² dă impresia, desigur falsă pe planul discuției raționale, dar mai puțin falsă la nivelul motivărilor estetice, că scopul principal al lui Hoyle este de a arăta că generarea considerată ca fenomen fizic interior Universului, „natural”, nu este o simplă

¹ „... Ideea că materia este ceva inert și neinteresant este desigur cea mai mare prostie. Dacă întîmplător există ceva mai minunat, mai extraordinar decât materia în infinita varietate a comportărilor sale, acesta este un lucru despre care nu am auzit vorbindu-se”. (F. HOYLE, *Aux frontières de l'Astronomie*, trad. M. et E. Vincent, Corrêa, Paris, 1956, p. 242).

² F. HOYLE, *A New Model of the Expanding Universe*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 108, 5, 1948, pp. 372—382.

fantezie a imaginației, ci o ipoteză care poate fi susținută rațional și care poate chiar fi exprimată, aproape fără a mai adăuga ceva, prin legile fizice cunoscute și general admise din moment ce o ușoară modificare a ecuațiilor lui Einstein este suficientă.

În acest Univers mereu identic cu sine însuși, dar în care, totuși, ia naștere fără încetare o materie nouă care se condensează în sisteme noi, ansambluri din ce în ce mai cuprinzătoare și din ce în ce mai complexe, se includ ierarhic unele în altele, fără ca vreo structură să poată fi concepută ca rezultat al unei simple compuneri a elementelor sale, căci, — și aceasta este o idee asupra căreia lui Hoyle îi face plăcere să revină — „o structură este ceva mai mult decât unitățile din care ea este formată ¹” sau, cum mai spune el, „Universul este mai mult decât părțile care îl constituie ²”. Astfel, în timp ce în spiritul lui Bondi, Gold și Sciama teoria stării staționare este în esență o teorie monistă, Hoyle este atras de pluralism și nu renunță la a concepe sau a-și imagina, în interiorul acestui Univers invariabil la scară foarte mare, întreaga diversitate posibilă. Astfel, așa cum am văzut, Universul staționar, care nu are nici trecut nici viitor, conține totuși obiecte individuale de o vîrstă oarecare, în cîmpul unui observator oarecare putînd întotdeauna să apară o galaxie de vîrstă arbitrară, de exemplu. Mai simplu, probabilitatea de a întîlni un obiect foarte bătrîn este foarte mică. În acest fel, faptul că Galaxia care îl conține pe observatorul uman are cei aproximativ douăzeci și cinci de miliarde de ani, pe care însuși Hoyle este dispus să îi atribuie, este o simplă întîmplare. În orice caz, viitorul său este infinit și chiar, prin aceasta, imprevizibil, căci, înconjurată de materie în formare, scaldîndu-se chiar în această materie tinăra omniprezentă, Galaxia poate să capteze, cu timpul, cantități arbitrare de materie, alipite de cîmpul său gravitațional. Ca o aplicație a principiului după care întregul reprezintă mai mult decât suma părților sale, adăugarea de materie nouă la un sistem deja format are însă toate șansele de a modifica din punct de vedere calitativ, cu timpul, structura sa. Într-adevăr, din motive care țin de matematica relativității ³, soarta unui corp foarte dens este una din marile enigme ale cosmogoniei, iar dorința secretă a lui Hoyle de a întîlni necunoscutul și deosebitul își găsește aici o anumită justificare.

¹ F. HOYLE, *Aux Frontières de l'Astronomie*, op. cit., p. 344.

² *Ibid.*, p. 368.

³ Hoyle evocă momentul în care Galaxia va atinge un asemenea stadiu de condensare încît curbura spațiului va împiedica lumina să iasă și se întreabă ce fel de existență se va putea duce atunci... El se gîndește, desigur, că munca astrono-milor va deveni mult mai limitată, Universul observabil reducîndu-se la Galaxie (*La Nature de l'Univers*, op. cit., p. 122).

Pluralismul său se afirmă și în alt context, în legătură cu procesul generării de materie și cu poziția sa în raport cu alte forme cunoscute ale interacțiunii fizice. *Cîmpului nuclear*, spune Hoyle, care asigură coeziunea materiei elementare, i se adaugă mai întâi *cîmpul electromagnetic*, care permite emisia și absorbția luminii de către atomi, apoi *cîmpul gravitațional*, răspunzător de unitatea stelelor și a galaxiilor și, în sfîrșit, *cîmpul generării*, care exprimă o acțiune intim legată de expansiunea cosmică și care se deosebește, în particular, de celelalte prin faptul că ceea ce este determinant în fiecare punct este influența materiei celei mai îndepărtate¹. În tot acest pasaj, Hoyle se exprimă ca și cum ar exista o deosebire ireductibilă între aceste moduri diferite de interacțiune, ceea ce are poate drept scop să-l facă pe cititor să admită mai ușor faptul că cîmpul generării se poate suprapune peste cîmpurile deja cunoscute, din moment ce el nu este mai deosebit de celelalte decît sînt acestea unele față de altele.

Totuși, în scrierile științifice ale lui Hoyle, chiar în operele sale de popularizare, acest pluralism rămîne moderat și în același timp veleitar. El se afirmă în schimb într-un mod mult mai radical și mai îndrăzneț într-una din operele sale de ficțiune, *The Black Cloud*², sub o formă atît de fantastică, încît numai gîndul că avem de-a face cu exagerări tipice ficțiunii ne liniștește în privința adevăratelor idei ale autorului. Nu trebuie totuși să ne încredem prea mult în acest gînd, căci, într-o scurtă prefață în care face cu ochiul puținilor fericiți (*the happy few*) capabili să citească printre rînduri, el îi invită să remarce că, în povestea sa, „nu intră decît foarte puține lucruri pe care rațiunea le poate numi imposibile” și, evident, se abține să precizeze care sînt acestea...

În *The Black Cloud*, ierarhia structurilor cosmice suprapuse nu ia numai forma întrepătrunderii spațio-temporale; ea este o adevărată ierarhie în ordinea valorilor și a puterilor care, în chip misterios și tragic, desparte ființele cosmice unele de celelalte.

Dealtfel, partea serioasă și aproape banală a acestei lumi fantastice este dezvăluită cu franchețe chiar de către autor, în alte scrieri. Hoyle are desigur în mod acut sentimentul limitării conștiinței individuale, ba chiar a rațiunii umane în acțiunea sa de a se face stăpîna Universului prin cunoaștere. Acest sentiment se exprimă foarte viguros în anumite conversații, în care tema fantastică din *The Black Cloud* este tratată la modul etic: neliniștea sau iritarea provocate de propria limitare, sau de cea a umanității, deschide psihologic calea unei meditații metafizice în care se im-

¹ *Aux frontières . . .*, op. cit., p. 368.

² Vezi versiunea în limba franceză, *Le Nuage noir*, trad. J. Quéval, Paris, Dunod, 1962.

pune o anumită transcendență. Dar tocmai aici se desparte Hoyle de căile cele mai tradiționale. El se ridică cu vigoare, chiar cu asprime, împotriva noțiunii creștine de supraviețuire. Neînțelegînd, sau făcîndu-se că nu înțelege, că singura transcendență care ar putea să elibereze creștinismul de superstiție este cea a carității, Hoyle protestează împotriva unei idei de nemurire care în ochii săi nu are alt sens decît acela de a prelungi indefinit existența individului limitat și îngădit în conștiința limitării sale : „Ceea ce îmi oferă creștinii este o eternitate a frustrării”¹. Hoyle ne încredințează — cît este glumă și cît este serios în această afirmație? — că nu crede că și-ar putea suporta propriile sale limitări mai mult de trei sute de ani, dar este destul de mulțumit de el însuși pentru a accepta să se acomodeze cu ele mai mult de șaptezeci de ani²...

Ce ar propune el, Hoyle, pentru a face tolerabilă existența în acest „Univers fantastic”, în care „aproape nimic nu ne dovedește că existența noastră ar avea vreun sens”³? Răspunsul este clar și semnificativ : este chiar idealul pe care niște împrejurări extraordinare îl pun la dispoziția eroului din *Black Cloud*, fără ca el să izbutească totuși să-l atingă : „Ceea ce aş alege, ar fi o evoluție a vieții, grație căreia esența fiecăruia ar fi amalgamată într-o structură mai puternică și mult mai vastă”⁴. „Dacă o anumită transcendență este posibilă și de dorit, aceasta trebuie să fie deci în interiorul lumii”.

Trebuie să ne ocupăm acum de procedeele tehnice prin care Hoyle stabilește cosmologia staționară și dă o expresie formală pentru procesul de generare continuă. Remarcăm mai întîi că raționamentul cosmologic al lui Hoyle nu are puritatea logică a raționamentului lui Bondi și Gold, recunoscînd în același timp că concluziile sale sînt totuși mai satisfăcătoare din punct de vedere fizic. Inconvenientul metodelor lui Hoyle constă în faptul că punctul către care tinde raționamentul este întotdeauna impus de la început : este vorba de a regăsi modelul staționar și generarea continuă, dar acest lucru nu este posibil decît făcînd diferite compromisuri. Hoyle fixează aprioric forma elementului cosmic ds^2 care trebuie găsit, sprijinindu-se mai ales pe experiența metodei deductive și fără să evite un anumit arbitrar în alegerea finală a metricii staționare. El vrea în același timp să păstreze teoria rela-

¹ F. HOYLE, *La Nature de l'Univers*, op. cit., p. 131.

² *Ibid.*, p. 130. Cînd scria aceste rînduri, Hoyle avea treizeci și cinci de ani.

³ *Ibid.*, p. 128.

⁴ *Ibid.*, p. 131.

tivității ca bază fizică a edificiului cosmologic, renunțând totuși la una din condițiile pe care ar trebui să le satisfacă ecuațiile acesteia.

Dealtfel, cu toate că ideile sale de bază au rămas neschimbate, Hoyle și-a modificat sensibil de-a lungul anilor procedeele formale și procedeele de demonstrație ale teoriei sale. După câte știm, pînă acum el a dat patru versiuni și între prima și ultima există deosebiri importante¹. Motivul acestor compromisuri și încercări repetate de ajustare este destul de ușor de înțeles și este important să fie luat în considerare: atras foarte puternic de rezultatele lui Bondi și Gold, Hoyle nu a apreciat în aceeași măsură și metoda lor, pe care a criticat-o dealtfel, așa cum am văzut, destul de viguros. Aceasta pentru că în epistemologie, pozițiile sale sînt mult mai clasice. El nu este atît de ostil definirii cunoașterii cosmologice ca rezultat al unei inducții care pornește de la cunoștințe locale. Monismul nu este punctul său forte, iar meritele principiului cosmologic perfect nu i se par indiscutabile, pentru simplul motiv că acest principiu nu este aplicabil mediului cosmic din vecinătatea noastră, chiar dacă mergem pînă la distanțe enorme.

Într-adevăr, Hoyle abordează problema cosmologică cu preocupările astrofizicianului sensibil la nepotrivirea care apare atunci cînd se confruntă modelele de univers uniformizate (*smoothed-out*), cu realitatea cosmică observată cel mai bine, adică cea mai apropiată. Ca fizician care caută o descriere coerentă a proceselor astronomice concrete, el are nevoie de o teorie fizică a cîmpului pe care metoda deductivă nu o oferă, de unde rezultă o distrugere a continuității între fizica cosmică „locală” și cosmologia de structură. În sfîrșit, angajat într-o acțiune precisă de *explicare* a evoluției stelare care face apel la mecanisme nucleare extrem de fine și în parte cunoscute de fizica experimentală, Hoyle nu poate fi complet satisfăcut de o cosmologie globală într-un sens unilateral și descriptivă, avînd în vedere că ea implică generarea de materie. Afirmarea atît de repetată și aplicarea aproape întotdeauna cu succes a principiilor de conservare a sfîrșit prin a face inutilă întrebarea: „De ce și cum se conservă lucrurile?” În schimb, un fizician care postulează generarea continuă ca fenomen fizic ajunge în mod natural să se întrebe cum are loc această generare. Și într-adevăr, Hoyle nu a considerat niciodată că s-ar putea mulțumi cu o definiție pur „fenomenologică” a generării.

¹ F. HOYLE, *A New Model of the Expanding Universe*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 108, 5, 1948, pp. 372—382; *On the Cosmological Problem*, M. N. R. A. S., 109, 3, 1949, pp. 364—371; *The Steady State Theory*, in *La Structure . . .*, op. cit., pp. 53—57; *A Covariant Formulation of the Law of Creation of Matter*, M. N. R. A. S., 120, 3, 1960, pp. 257—262.

Pe scurt, ghicim în spiritul lui Hoyle o anumită tensiune între exigențele gândirii cosmologice și cele ale gândirii fizice. Aceasta explică de altfel și evoluția ideilor sale teoretice. Într-adevăr dacă se compară mai ales ultima versiune a raționamentului său cosmologic cu prima, sensul modificării, încă incert în încercările intermediare, apare acum perfect clar și absolut conștient.

În memoriul din 1960, determinarea modelului cosmologic și-a pierdut în primul rând importanța sa relativă. Hoyle se menține mereu în cadrul modelului staționar al lui de Sitter, dar de data aceasta mai puțin strict, pentru că se ia în considerare posibilitatea unei variații seculare foarte lente a constantei de recesiune. De data aceasta scopul principal al cercetării este formularea, în modul cel mai clasic posibil, a unei legi pentru generarea de materie ca fenomen fizic. Hoyle s-a reîntors la „ortodoxismul” relativist, în sensul că adoptă fără modificări formalismul lui Einstein și că vrea ca teoria sa să fie în întregime în conformitate cu principiul general de covarianță, considerat ca fundamental în teoria relativității și a cărui valoare este atestată de toate succesele fizice ale acestei teorii. Generarea de materie nu mai apare de acum înainte decât sub forma unui element nou, care trebuie adăugat tensorului energie-impuls care figurează în membrul al doilea al ecuațiilor lui Einstein.

Acest procedeu nu este adoptat de Hoyle decât după o discuțare aprofundată a problemei generale a covarianței ecuațiilor care se aplică pentru descrierea Universului (covarianța însemnând independența conținutului metric al ecuațiilor față de sistemul de coordonate ales pentru reperarea mărimilor care apar în ecuații). Această problemă l-a preocupat întotdeauna pe Hoyle, care încă de la prima sa încercare în domeniul cosmologic își fixase atenția asupra unei dificultăți care există în stare latentă în întreaga cosmologie modernă: contrastul dintre proprietățile de covarianță ale ecuațiilor relativiste și proprietățile neinvariante ale Universului pe care se presupune că ele trebuie să-l descrie.

La drept vorbind, dificultatea apăruse încă de la începuturile cosmologiei relativiste, căci acesta a fost unul din punctele de discordiu dintre de Sitter și Einstein. Modelul închis al lui Einstein presupunea un sistem absolut de repaus și implica un timp cosmic, deci un sistem de coordonate privilegiat. S-a văzut apoi, odată cu modelul lui de Sitter, ce consecințe avea în cosmologie utilizarea liberă a proprietăților de covarianță ale ecuațiilor câmpului. O asemenea schimbare de coordonate tulbura de sus pînă jos structura Universului, dădea naștere la paradoxuri, pune în pericol

orice cercetare (*insight*) cosmologică¹. Principiul lui Weyl, restabilind timpul cosmic și selecționând o familie de repere fundamentale, a rezolvat problema în favoarea lui Einstein și a Universului neinvariant, în defavoarea lui de Sitter și a utilizării cosmologice a principiului de covarianță.

Cosmologia deductivă a confirmat în felul ei această decizie. Înlăturând de la început orice teorie a timpului fizic, și asimilând axiomatice Universul cu un sistem de observatori „echivalenți”, adică aprioric conectați, cu excluderea tuturor celorlalți, prin folosirea unui anumit grup de transformări, ea a deplasat problema, readucând-o la frontiera dintre fizică și cosmologie. În sistemul lui Milne nu se poate găsi același tip de invarianță la nivelul „sistemelor statistice” și la nivelul *substratum*-ului. Pentru Bondi și Gold, generarea de materie trebuie să fie asociată direcției privilegiate a spațiului, adică existența unui sistem de repere fundamentale are într-adevăr o semnificație fizică.

În ceea ce-l privește pe Hoyle, el nu a găsit însă niciodată această poziție cu adevărat satisfăcătoare. Generarea de materie este un fenomen fizic, chiar microfizic, el trebuie să fie deci exprimat prin ecuații care să aibă aceleași caracteristici de covarianță ca și ecuațiile care exprimă celelalte fenomene fizice elementare. Aceasta este poziția la care a ajuns până la urmă după multe nedumeriri. În memoriul din 1960, după o scurtă trecere în revistă a etapelor propriei sale evoluții, Hoyle constată că dificultatea este „reală și foarte serioasă”. Toate teoriile macroscopice, de dinainte și de după apariția relativității, constată el, au ajuns, nu din motive de utilitate, ci „într-un mod cu totul fundamental” la alegerea unor sisteme de coordonate speciale; coerența teoriei newtoniene depinde de ipoteza spațiului absolut, căreia Mach voia să-i substituie definirea la fel de puțin invariantă a unui sistem de inerție ca sistem în repaus în raport cu materia îndepărtată. În relativitate, comportarea unei singularități izolate, în conformitate cu soluția lui Schwarzschild, depinde de condițiile la limită, care nu sînt asigurate decît de izotropia Universului, toate acestea fiind de altfel în acord cu experiența obișnuită, care dovedește existența unor sisteme de coordonate speciale. Or, succesul în microfizică al ipotezei generale de covarianță din teoria relativității este în dezacord cu aceasta. Hoyle consideră puțin satisfăcătoare acea soluție a dilemei care constă din ocolirea problemei prin presupunerea că timpul este închis spre trecut, ceea ce implică faptul că ecuațiilor le sînt impuse artificial anumite condiții la limită. Atunci cînd

¹ Vezi mai sus, cap. II, p. 52.

timpul se deschide spre $-\infty$, soluția este mai dificilă. În cazul acesta apar două posibilități: sau trebuie arătat în ce mod niște condiții inițiale, total arbitrare, trebuie să conducă la omogeneitate și izotropie, caz în care nu se poate evita introducerea în ecuații a unor condiții necovariante, sau se face presupunerea că omogeneitatea și izotropia au fost date dintotdeauna. În acest caz este suficient să se demonstreze *stabilitatea* soluției alese, adică să se dovedească că orice perturbație tinde să se amortizeze. Deoarece, în plus, nu există nici un motiv precis să se presupună că Universul a trebuit să fie în trecut mai puțin omogen decât îl vedem noi astăzi, pînă la urmă Hoyle adoptă, în ultima sa lucrare¹ această a doua soluție.

Acum putem preciza, fără a intra în detalii, principalele asemănări și deosebiri dintre cele două tratări teoretice ale cosmologiei staționare și ale generării de materie, propuse de Hoyle la un interval de doisprezece ani. În ambele cazuri, scopul este același — prezentarea modelului staționar al lui Bondi și Gold ca soluție a unor ecuații analoage celor ale lui Einstein, dar scrise într-un mod care să permită generarea de materie și fără să se presupună deloc că densitatea materiei în spațiu este nulă. La fel ca Bondi și Gold, Hoyle nu admite că această cosmologie implică abandonarea necondiționată a principiului conservării materiei-energiei. Într-adevăr, într-un Univers infinit, conservarea cantității totale de materie-energie nu are sens, deci trebuie să se definească natura domeniilor spațio-temporale finite în care se postulează că materia-energiea se conservă. Dacă acestea sînt însă definite în așa fel încît volumul lor propriu să rămînă constant, principiul de conservare, departe de a contrazice generarea, o va implica; dacă ele sînt definite, ca în cosmologia relativistă, în așa fel încît volumul lor propriu să se dilate cu timpul, generarea va fi exclusă de principiul conservării. În privința acestor puncte diferite, ideile lui Hoyle au rămas neschimbate.

Deosebirile se axează pe problema expresiei formale a acestor idei. Primul procedeu constă din a adăuga în ecuațiile lui Einstein un nou tensor fără semnificație dinamică directă, care să exprime existența unei direcții preferențiale în spațiu-timp. Cel de-al doilea procedeu constă din revenirea la ecuațiile lui Einstein, introducînd însă în tensorul material care figurează în membrul al doilea un element derivat dintr-un nou cîmp fizic, cîmpul generării, definit cît mai simplu posibil și într-un mod care să nu con-

¹ Formulele din acest memoriu se găsesc în Anexa, X, A.

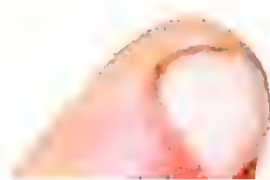
trazică ipotezele de uniformitate făcute în privința „fluidului” cosmic, la fel ca în cosmologia relativistă obișnuită.

1. În prima versiune merită să fie subliniat în mod deosebit un aspect. Hoyle introduce un câmp vectorial asociat direct unei familii de geodezice ale spațiu-timp-ului, care corespunde geodezicelor lui Weyl din cosmologia „ortodoxă”. În fiecare punct vectorul câmpului C_μ este tangent la unica geodezică a familiei care trece prin acel punct; în plus el este de lungime constantă. Aceasta este reprezentarea geometrică a timpului cosmic. Tensorul care rezultă din derivarea covariantă a acestui vector, $C_{\mu\nu}$, intră în ecuațiile lui Einstein în locul termenului cosmic obișnuit, $\Lambda g_{\mu\nu}$, care este suprimat. Deoarece divergența acestui nou tensor nu este nulă, nici aceea a tensorului material nu se poate anula și aceasta implică o generare de materie.

Acest mod de a proceda — evident contestabil din punct de vedere al relativității și destul de echivoc din punct de vedere teoretic (vectorul C_μ nu este legat de $g_{\mu\nu}$, deci la drept vorbind el nu este o entitate geometrică, dar nici o mărime fizică) — avea totuși, după câte ni se pare, marele avantaj de a asocia într-un formalism simplu și direct direcția timpului cu un fenomen fizic ireversibil prin însăși natura sa, un proces genetic pur, în timp ce în deducția lui Bondi și Gold această legătură nu apărea decât indirect. Dată fiind semnificația sa ontologică, Hoyle era mulțumit să o vadă exprimată matematic cu atîta simplitate și claritate. Dimpotrivă, în cea de-a doua versiune a sa, legătura tinde să se estompeze, cu toate că rămîne subiacentă teoriei.

2. Această a doua versiune se bazează în esență pe definirea unui potențial scalar al generării. Cu ipoteza ulterioară că acest potențial este funcție numai de timp, Hoyle reintroduce timpul cosmic iar cu ajutorul derivatei secunde covariante a acestui scalar se formulează legea generării (se presupune numai că câmpul generării este proporțional cu densitatea cosmologică în fiecare punct) și acest tensor este introdus în ecuațiile lui Einstein, însă cu mai multă modestie decât tensorul $C_{\mu\nu}$. Într-adevăr, el se contopește în tensorul material $T_{\mu\nu}$ alături de alte elemente — gravitațional, electromagnetic și nuclear.

Valabilitatea soluției staționare este asigurată de ipotezele obișnuite asupra „fluidului” cosmic. Lui Hoyle nu-i mai rămîne decât să demonstreze stabilitatea modelului în timp, ceea ce o face în mod riguros, și stabilitatea sa spațială, care este dată ca foarte probabilă, fără a fi totuși demonstrată cu adevărat. Nu este



exclus totuși ca luarea în considerare a elementelor electromagnetice și nucleare din tensorul material, în general neglijate în cosmologie, să provoace un defect de stabilitate și, mai ales, o variație seculară lentă a constantei de recesiune. Am menționat deja reflecțiile pluraliste pe care această eventualitate i le sugerează lui Hoyle.

Evoluția netă a gândirii cosmologice a eminentului astrofizician depășește poate persoana sa. Ea ar putea să însemne o mișcare de repliere a ceea ce a reprezentat acum treizeci de ani cosmologia nouă, pe poziții cât mai apropiate de cele ale relativității generalizate.

A. Variațiuni pe tema marelui număr — Eddington, Dirac și Jordan

Examinarea sistematică a constantelor numerice ale fizicii, ale microfizicii și ale astronomiei a apărut, într-un mod destul de neașteptat, în ultimii patruzeci de ani, ca una din căile de acces posibile pentru cunoașterea Universului. Aceasta este unul din progresele surprinzătoare care au apărut în cosmologia contemporană — surprinzătoare pentru că determinarea experimentală a unei constante numerice pare, în fizica pozitivă, mai curînd o operație finală în procesul de inserare a formelor fizico-matematice în experiență decît punctul de plecare al speculației teoretice. Pentru spirite formate în cadrul epistemologiei secolului al XIX-lea, atitudinea față de numere — considerarea lor pur și simplu ca fapte date — ar fi putut fi luată chiar ca un bun criteriu pentru a face o distincție între filozofia pozitivă și filozofia preștiințifică a naturii, avînd în vedere vechimea și vanitatea speculațiilor asupra numerelor, cărora li se atribuia pe nedrept o semnificație ontologică.

Dealtfel Eddington reînviase meditația asupra numerelor fizice tocmai în acel moment crucial al carierei sale în care el rupea în mod deliberat cu metodologia tradițională a fizicii. Talentul lui Eddington era însă atît de mare, informația sa atît de vastă și de sigură, ideile sale atît de bogate și de promițătoare încît este dificil să se traseze limita dincolo de care începe adevărata ruptură. În orice caz, contemporanii săi nu par să o fi văzut prea clar, remarcînd numai încetul cu încetul că erau antrenați acolo unde nu voiau să meargă și că frontiera admisibilului era depășită.

Nu avem intenția să-l urmărim acum pe Eddington pînă la capăt în speculațiile sale asupra numerelor, pentru că am încercat să facem acest lucru într-o altă lucrare. Vom relua aceste speculații din punctul în care alți autori, care nu aparțineau direct anturajului lui Eddington, au considerat la rîndul lor că le pot

continua pe cont propriu, adică practic așa cum le găsim în *The Expanding Universe*¹, această mică capodoperă în care spiritul eddingtonian strălucește poate mai viu decât oriunde și în care, după ce expune cosmologia relativistă, așa cum o înțeleg Lemaître și el însuși, Eddington se desparte de ortodoxismul științific.

Mecanica cuantică a lui Dirac făcuse asupra lui Eddington o impresie profundă. În schimb, Dirac, deși după toate aparențele, sedus de ideile lui Eddington asupra constantelor numerice, a fost dezamăgit în cele din urmă de metodele și rezultatele înaintașului său. Aici se află originea propriei sale meditații cosmologice.

În sfârșit, Pascal Jordan va încerca să insereze principiul lui Dirac — după care numerele foarte mari, care rezultă din combinațiile adimensionale între constantele fizice, variază cu timpul — într-o teorie a relativității lărgită. El a fost printre primii care s-au angajat pe un drum pe care Eddington nici nu-l luase măcar în considerare, pe care Dirac refuzase s-o apuce, făcând ipoteza că într-un punct sau altul din spațiu pot să apară particule materiale *ex nihilo*.

Nici una dintre aceste trei încercări nu a ajuns de fapt la o soluționare convingătoare a problemei constantelor numerice, problemă pe care totuși timpul nu a distrus-o pur și simplu, așa cum se întâmplă, prin uzură și măcinare. Mulți cosmologi o consideră încă semnificativă, în măsura în care consideră că în spatele ei se ascunde întreaga problemă a relațiilor dintre microfizică și cosmologie, așa cum credea Eddington.

I. Eddington

În 1933, Eddington era deja convins de mult timp — de altfel, această idee provenea de la Weyl—că constanta cosmologică are o semnificație metrică fundamentală. Deoarece, din punct de vedere al dimensiunilor fizice, aceasta este inversul pătratului unei lungimi, ea trebuia, în spiritul lui Eddington, să definească unitatea absolută de lungime. Pe de altă parte, acest postulat permitea să se determine soluția cosmologică a ecuațiilor câmpului.

Într-adevăr, investită cu această semnificație metrică, A nu putea fi decât pozitivă; pe de altă parte, ea trebuia să corespundă unei structuri cosmologice determinate — Universul static și închis al lui Einstein, *uranoidul*, cum va spune mai târziu Eddington.

¹ Cambridge, 1933.

Or, așa cum am văzut, chiar Eddington demonstrase că modelul lui Einstein este de fapt o formă de echilibru instabil, care sub influența unei perturbații locale oarecare începe o contracție sau o expansiune indefinită. Starea inițială a Universului, depășită deja în mod ireversibil, trebuie deci reprezentată în sensul expansiunii; aceasta este ceea ce se numește de obicei cosmologia lui Lemaitre-Eddington. Universul a rămas un timp infinit de lung în vecinătatea stării statice a lui Einstein, de la care nu s-a abătut în mod sensibil decât pentru un interval de timp care este probabil de ordinul de mărime al inversului constantei lui Hubble.

Or, Eddington știa foarte bine și o spusese explicit că această imagine a istoriei cosmice este foarte puțin convingătoare. O stare de echilibru instabil care se menține practic fără modificări (datorită caracterului logaritmice al legii) în cursul unui timp infinit, este un fapt care violează nu numai modul obișnuit de gândire din fizică, ci și „bunul simț”, pentru care știința modernă nu are nici un respect. Totuși, în timp ce Lemaitre își transforma complet teoria, Eddington nu se ostenea să caute o reprezentare mai puțin bizară a expansiunii cosmice. Motivul acestei indiferențe neobișnuite ni se pare a fi următorul: în 1933, anul publicării cărții *The Expanding Universe*, Eddington încetase de fapt să se mai intereseze de expansiune, de istoria cosmică, de tot ce este devenire în Univers. Dar renumele său era în întârziere cu zece ani față de gândirea sa, căci publicul mai vedea în el pe marele teoretician al expansiunii, iar memoriul său asupra instabilității Universului lui Einstein căpătase deja sensul ultimei lovituri în înlăturarea definitivă a imaginii milenare a cerului imuabil. Ceea ce îl fascinează în realitate acum este existența probabilă a unui complex de relații numerice care, nefiind afectate de expansiune, scapă procesului de devenire. Este suficient ca *uranoidul* lui Einstein să definească un sistem de referință fix; din punctul de vedere al problemei structurii, așa cum o pune el acum, restul nu are nici o importanță.

Această poziție este dealtfel în perfectă concordanță cu filozofia timpului pe care Eddington o propusese, cu mai mulți ani în urmă, în *The Nature of the Physical World*¹: temporalitatea și devenirea fac parte din acele attribute ale existenței despre care fizica nu poate ști nimic în mod direct, căci, prin însăși natura sa, cercetarea fizică se întoarce întotdeauna la exigențele metrice pe care ea le impune aprioric realității. Fizicii îi este interzis să atingă intimitatea lucrurilor, unul din aspectele căreia este exprimat chiar de devenire,

¹ Cambridge, 1929 (*Gifford Lectures*, 1927).

iar proprietățile metrice ale Universului, pe care le exprimă constantele fizice, sînt de fapt de origine epistemologică.

Punctul de plecare al raționamentului lui Eddington este existența presupusă a două relații numerice independente între raza de curbură spațială a Universului lui Einstein, R , și numărul N de protoni din lume, număr foarte mare, dar finit dacă Universul este spațial închis. Una din aceste relații este cosmologică și rezultă direct prin aplicarea ecuațiilor cîmpului la Universul lui Einstein, pentru că N este evident legat de masa totală a Universului care induce cîmpul gravitațional¹. Cea de-a doua relație este microfizică, nouă, ipotetică și specific eddingtoniană. Pentru stabilirea ei, Eddington raționează — pe scurt — astfel: unitatea microfizică de lungime $\frac{e^2}{mc^2}$, cu valoarea în jur de 10^{-13} cm, tre-

buie să fie legată printr-o relație simplă de R și de N dacă R este o măsură absolută de lungime, pentru că trebuie să existe o anumită legătură între însumarea lungimilor elementare și etalonul cosmic. Or, nu se pot însuma decît anumite feluri de mărimi și, în microfizică, singurele mărimi aditive sînt, din punct de vedere al dimensiunilor fizice, omogene în $\frac{1}{R^2}$; combinația căutată

este deci $\frac{N}{R^2}$, iar unitatea microfizică de lungime trebuie identificată cu $\frac{R}{\sqrt{N}}$. Existența acestor două relații permite calcularea

separată a lui R și N . Cu ajutorul geometriei Universului, valoarea găsită pentru R poate fi confruntată cu valoarea empirică a constantei lui Hubble; cît despre N , acest număr este de ordinul 10^{79} . În acest fel, din calculul lui Eddington apare un număr foarte mare, care va rămîne în centrul tuturor cercetărilor asupra numerelor cosmice, pentru că se întîmplă ca acest număr foarte mare să fie de ordinul de mărime al pătratului numărului care măsoară raportul dintre interacția electrică și interacția gravitațională dintre proton și electron.

Din acest punct încep să se ridice construcțiile cu adevărat și în exclusivitate eddingtoniene care se vor încheia, zece ani mai târziu, în *Fundamental Theory* prin deducerea a douăzeci și șapte

¹ Anexa, V, ec. 57 și IV, ec. 53. Punînd $p = 0$, $R = R_e = \text{const}$ în V, ec. 57 și introducînd în IV, ec. 53, se obține $\frac{N}{R_e}$ în funcție de masa particulei elementare și de constantele cunoscute.

de constante fizice pornind de la trei dintre ele și prin deducerea în întregime apriorică a numărului mare N , evaluat la 2^{256} . Dar încă din 1933 Eddington identifica inversul constantei structurii fine, $\frac{hc}{2\pi e^2}$ cu numărul întreg 137 și, cu ajutorul acestui număr ajustat la 136 prin raționamente subtile, calcula în bun acord cu experiența, raportul dintre masa protonului și aceea a electronului.

II. Dirac

Atunci când a luat și el cuvîntul în dezbaterile cosmologice, în 1937¹, la un an după publicarea teoriei lui Eddington în prima versiune², Dirac era încă sub impresia acesteia și, cu toate îndoiele în ceea ce privește valoarea metodei, el dorea cel puțin să rămînă credincios spiritului eddingtonian, așa cum și Eddington, cu cîțiva ani mai înainte, dorise să urmeze calea deschisă de Dirac în fizica cuantică.

Acum, după douăzeci și cinci de ani, dată fiind scăderea entuziasmului fizicienilor față de metodele lui Eddington, cititorul este mai curînd surprins de creditul acordat de Dirac acestor metode atunci cînd scrie: „Argumentele lui Eddington nu sînt întotdeauna riguroase, dar ele dau impresia că sînt probabil exacte în conținut, în cazul numerelor mici”. Dirac nu a fost mai puțin dezamăgit decît au fost în general cititorii cărții *Relativity Theory of Protons and Electrons*, chiar și aceia sau, poate, mai ales aceia, care erau înclinați să acorde încredere intuiției și talentului lui Eddington³.

Într-adevăr, Dirac consideră că Eddington nu a rezolvat problema numerelor fizice foarte mari, în sensul că el nu a ajuns la stabilirea faptului că ele ar avea o semnificație structurală, că proporția numerică dintre macrocosmos și microcosmosul atomic rezultă din structura lor logico-matematică. Or, Dirac avea motive speciale să se intereseze de această problemă: căutarea unei ecuații a undelor liniară și relativistă îl condusese, prin simpla dezvoltare a formalismului, la a identifica în mod ipotetic o „particulă încărcată” cu o „stare de energie” a întregului Univers. Aceasta con-

¹ P. A. M. DIRAC, *The Cosmological Constants*, Nature, 139, 1937, p. 223, vezi Anexa, X, B.

² *Relativity Theory of Protons and Electrons*, Cambridge, 1936.

³ De exemplu Schrödinger, la sfîrșitul unei recenzii pline de înțelegere a cărții *Relativity Theory...*, ajunge la concluzia că este vorba de un proiect de dimensiuni neobișnuite, în care „numai detaliile necesită dezvoltări și poate modificări importante” (Nature, 140, 1937, p. 742).



ducea de la sine la ideea că „numărul de particule”, dacă expresia are vreun sens, poate să corespundă unei proprietăți structurale a Universului.

Eddington nu a reușit totuși să pună în evidență această proprietate și, așa cum rezultă implicit din discuția lui Dirac, nici nu ar fi putut să o facă: „Aceste numere sînt atît de mari încît ne fac să ne gîndim că ar fi nevoie de o explicație cu totul diferită.” Nu numai „diferită”, ci de fapt aproape „contrară”. Căci Dirac face mai mult decît să renunțe la principiile eddingtoniene, el le răstoarnă. Eddington credea că numerele mari au o semnificație structurală independentă de expansiune și de epoca cosmică. Dirac afirmă, dimpotrivă, că deoarece este imposibil să fie deduse, ele sînt contingente și în consecință relative față de momentul din istoria universală în care le măsurăm. Eșecul lui Eddington aruncă numerele mari din sfera logică în cea a istoriei. Transformînd atunci o necesitate în virtute, Dirac schițează ceea ce va deveni principiul fundamental al cosmologiei sale: în timp ce constantele numerice „mici” — cele apropiate de unu și mergînd pînă la puteri mici ale lui zece — trebuie să fie considerate constante veritabile, numerele foarte mari, avînd toate valori de ordinul 10^{39} sau al pătratului acestui număr, trebuie să fie considerate proporționale cu vîrsta Universului sau cu pătratul ei, cu coeficienți de proporționalitate apropiați de unitate.

Trebuie oare să vedem, ca Bondi, o „soluție disperată”¹ în această inversiune a perspectivei eddingtoniene, în acest mod de a recurge la istorie ca la *ultima ratio*? Desigur Bondi nu este un judecător imparțial căci nu poate datorită „principiului cosmologic perfect”, să privească decît cu neîncredere o teorie care se sprijină pe „vîrsta” Universului. Dar este adevărat că există ceva bizar în raționamentul scurt al lui Dirac: Eddington nu a explicat numerele mari, deci ele sînt logic inexplicabile, deci ele indică epoca cosmică.

Oricum ar fi, în expunerea mai completă și sistematică pe care Dirac o face în 1938² în legătură cu ideile sale cosmologice, el nu se referă mai explicit la Eddington și încearcă mai curînd să-și definească poziția în raport cu cea a lui Milne, spre care trebuia să-l conducă în mod natural alegerea unei perspective istorice asupra Universului. El se apropie de acesta relevînd mai întîi contrastul — devenit evident la acea dată — dintre principiul de co-

¹ *Cosmology, op. cit.*, p. 160.

² *A New Basis for Cosmology*, Proc. Roy. Soc. London, 165 A, 1938, pp. 199 — 208.

varianță, care este unul din principiile de bază ale teoriei relativității și decalajul spectral al galaxiilor, care indică clar existența unei direcții privilegiate în spațiu-timp. El vede în aceasta un motiv de a considera, ca și Milne, că teoria relativității nu poate juca în cosmologie decât un rol subsidiar și că principiul cosmologic este o ipoteză rezonabilă.

Dar Dirac se desparte de Milne și rămâne credincios lui Eddington prin aceea că nu acceptă „ipoteza dimensională”, în virtutea căreia în legile naturii nu ar trebui să figureze decât constanta fără dimensiuni fizice. Într-adevăr, după Dirac nu există nici un motiv ca constantele atomice să nu apară în cosmologie; mai mult, ne-am aștepta chiar ca o cunoaștere mai profundă a lumii fizice să pună în evidență o legătură mai strinsă între atom și Univers. Aceasta este de altfel singura urmă indiscutabilă a originilor eddingtoniene ale cosmologiei lui Dirac.

„Ipotezei dimensionale” a lui Milne și Walker, pe care nu o acceptă, Dirac îi va substitui deci un „principiu fundamental” care combină postulatul milnean după care există o istorie a Universului reperabil pornind de la un zero natural al timpului, cu postulatul unei apariții a constantelor atomice la scara măsurărilor cosmologice. Dacă, cu ajutorul acestor constante, la care se adaugă 2π și c , viteza luminii în vid, se construiește în toate modurile posibile un interval elementar de timp, aceste unități se găsesc între ele în rapoarte care nu depășesc puteri mici ale lui zece; dintre aceste intervale elementare se alege unul care ocupă o poziție medie, $\frac{e^2}{mc^3}$, care este considerat ca unitate naturală de timp.

Cu această unitate, inversul constantei lui Hubble, T , este măsurat printr-un număr de ordinul 10^{39} , adică de ordinul raportului dintre interacțiunile electrică și gravitațională dintre proton și electron, γ^1 .

Dacă se presupune că această coincidență nu este pur întâmplătoare sau, mai mult, că *numărul mic*, apropiat de unitate, care rezultă din împărțirea a două *numere mari*, are o semnificație structurală, atunci el trebuie să fie constant și raportul γ trebuie să fie proporțional cu T . Or, în cosmologie se întâlnesc și alte numere

¹ Anexa, p. 486. Revizuirile valorii constantei lui Hubble intervenite mai târziu nu au consecințe asupra raționamentului lui Dirac, care nu se referă decât la ordine de mărime. Dirac dă pentru T , „vîrsta Universului” în unități atomice, valoarea $7 \cdot 10^{38}$; cu valoarea din 1960 a constantei lui Hubble se obține $5 \cdot 10^{39}$. Metodologia lui Dirac este în această privință cu totul opusă celei a lui Eddington, care căuta să obțină prin calcul o precizie egală cu precizia experimentală.



foarte mari fără dimensiuni fizice, de ordinul 10^{39} sau al pătratului lui. De aici derivă „principiul fundamental” :

„Două numere foarte mari, oarecare și adimensionale, care se întâlnesc în natură sînt legate printr-o relație matematică simplă, în care coeficienții sînt de ordinul de mărime al unității”. Cum anumite numere mari sînt în legătură directă cu epoca cosmică, rezultă că toate trebuie să fie astfel, pentru ca relațiile lor să se conserve. Se poate ca acest principiu fundamental să nu fie riguros aplicabil. Dirac admite că proporționalitatea dintre numerele mari poate să se modifice cu timpul, după o lege logaritmică, adică foarte lent, din momentul în care epoca devine foarte mare.

Cu toate că Bondi consideră că principiul lui Dirac nu indică la fel de clar ca „principiul cosmologic perfect” o direcție pentru cosmologie, sîntem dîmpotrivă surprinși de numărul și de importanța consecințelor pe care ajunge să le tragă Dirac. Introducînd în raționamentele sale un alt număr mare, care are și ordinul de mărime convenabil — densitatea medie de materie-energie din spațiu (sau, mai curînd, inversul ei), măsurată în unități atomice — Dirac deduce din principiul fundamental funcția de timp cosmic care definește recesiunea galaxiilor.

Din principiul fundamental rezultă de asemenea, prin reducere la absurd, că spațiul este infinit și euclidian (inversarea valorilor eddingtoniene este deosebit de netă aici). Într-adevăr, dacă curbura spațiului ar fi pozitivă, masa totală a Universului ar fi finită; măsurată în unități atomice, ea ar fi evident exprimată printr-un număr foarte mare care, conform principiului fundamental, ar trebui să varieze cu timpul, în contradicție cu principiul conservării. (Din contra, Eddington spune, aproximativ : dacă Universul ar fi infinit, masa sa nu ar fi măsurabilă cu ajutorul unui număr finit și ar dispărea orice relație definită între măsura atomului și cea a Cosmosului, ceea ce nu se poate concepe, căci Universul trebuie, în măsura în care formează obiectul cunoașterii fizice, să fie conform normelor metrice impuse aprioric de fizică). Spațiul nu poate fi nici de curbură negativă; aceasta rezultă de asemenea din principiul fundamental, printr-un raționament analog celui precedent, deși ceva mai complicat. Singura soluție posibilă este deci aceea ca spațiul să fie euclidian.

Dirac obține astfel o soluție complet determinată a problemei cosmologice adăugînd principiul său fundamental unor ipoteze obișnuite — principiului cosmologic — și fără a face apel la vreo teorie fizică.

Dar, spre deosebire de Milne, el caută să stabilească un contact cu relativitatea generalizată. Făcînd o discuție schematică asupra

mișcării particulei libere în structura cosmică pe care tocmai o definise, el constată, ca și Robertson și contrar lui Milne, că, în afara cazului particular în care viteza particulei este identică cu viteza „naturală” a materiei în punctul considerat, vectorul său accelerație este aprioric o funcție complet nedeterminată de viteză și de timpul cosmic. Aceasta îl face să recurgă la relativitatea generalizată, al cărei succes „local” sugerează că ar fi valabilă și la scară cosmică.

Dar ecuațiile acesteia nu mai pot fi aplicate dacă se folosesc unitățile atomice ale lui Dirac. Într-adevăr, în aceste unități, principiul fundamental implică faptul că constanta gravitației variază invers proporțional cu timpul — consecință inadmisibilă în relativitatea generalizată — pentru că raportul dintre interacțiunea electrică și interacțiunea gravitațională este un număr foarte mare care trebuie să varieze direct proporțional cu timpul. Masa și sarcina fiind mărimi care se conservă, rezultă că „constanta” gravitațională trebuie să fie variabilă. Pentru a aplica ecuațiile lui Einstein, acestea trebuie scrise într-un sistem de unități în care constanta gravitației este constantă. Deoarece masa se conservă în cele două sisteme de unități și viteza luminii este menținută egală cu 1, timpul „relativist” trebuie să fie proporțional cu pătratul timpului „atomic”.

Dirac regăsește deci în aparență, pe o cale cu totul diferită (de fapt însă într-un sistem de gândire analog), dubla scară a timpului a lui Milne. Trebuie însă să atragem atenția că efectele fizice observabile rezultate din această dualitate sînt inverse în cele două cosmologii. În timpul natural al lui Milne (scara t), „constanta” gravitației este *crescătoare* cu epoca; ea este dimpotrivă *descrescătoare* în timpul natural al lui Dirac. Deoarece în ambele teorii timpul mecanicii diferă de timpul natural, prima teorie face să se prevadă o accentuare a efectelor gravitației, iar cealaltă o diminuare a acestor efecte în cursul istoriei cosmice.

Acest caracter invers al consecințelor în cele două cosmologii de inspirație „istorică” nu trebuie desigur să ne surprindă prea mult, dat fiind faptul că în privința unor puncte importante postulatele lor sînt opuse. Acesta este totuși un argument destul de puternic în sprijinul tezei lui Bondi și a partizanilor Universului staționar, după care orice concesie făcută istoriei poate să producă în cosmologie efecte imprevizibile și incoerente asupra sistemului de concepte. În orice caz, cu ajutorul unei schimbări de unități convenabile, modelul de univers al lui Dirac se transformă într-un model relativist care nu este altul decît modelul Einstein-de Sitter.

În forma în care se află — pentru că celebrul fizician nu i-a dat niciodată o dezvoltare mai amplă — strălucitoarea încercare a lui Dirac prezintă defecte evidente : din punct de vedere cosmologic, ea nu evită problema singularității inițiale și a duratei scurte a istoriei cosmice, dificultăți la care sînt expuse în special modelele în care expansiunea se încetinește cu timpul — printre acestea aflîndu-se și modelul Einstein-de Sitter. În această privință, teoria lui Dirac nu prezintă nici un avantaj față de cosmologia relativistă. Pe de altă parte, din punct de vedere epistemologic, Bondi nu greșește atunci cînd spune că încercarea de joncțiune cu teoria relativității nu este prea convingătoare. Unul din motivele cercetărilor lui Jordan a fost acela de a da o bază teoretică mai solidă ideilor lui Dirac. Se pare că același lucru și-l propun și unii dintre fizicienii contemporani care vor să le exploreze consecințele astrofizice.

Dacă dorim să situăm exact încercarea lui Dirac în seria cercetărilor asupra constantelor și, mai general, în mișcarea cosmologică, trebuie să mai zăbovim asupra unui punct important. La Eddington marele număr era prin excelență legat de numărul particulelor elementare din Univers. La prima vedere, aplicarea principii lui Dirac trebuie să conducă la considerarea acestui număr ca o funcție crescătoare de timpul cosmic (variînd ca t^2). Dealtfel aceasta era, pe cît se pare, una din primele presupuneri care i-au venit în minte lui Dirac, din momentul în care a căpătat certitudinea că Eddington intrase într-un impas din care nu mai putea ieși. În nota din revista *Nature* din 1937, tocmai aceasta era prima consecință pe care o trăgea din principiul său, păstrînd implicit ipoteza finitistă a lui Eddington și renunțînd în același timp la principiul de conservare al materiei-energiei. Mai tîrziu, așa cum am văzut, el va reveni la acest principiu și va abandona finitismul, retrăgînd marelui număr semnificația fizică pe care i-o dădea Eddington.

Motivele care îl fac pe Dirac să prefere pînă la urmă teza clasică a conservării merită să fie menționate. De fapt, el nu invocă în favoarea principiului conservării nici o experiență și nici un fapt evident, constatînd că rata de creștere a numărului de particule din Univers ar putea fi destul de mare pentru a produce efecte cosmologice importante, răminînd totuși prea mică pentru a fi observabilă local. Justificarea principiului clasic este deci pur epistemologică : un proces de generare *ex nihilo* ar fi atît de dificil de pus în acord cu ideile de bază ale fizicii teoretice, încît este mai bine să nu fie luat în considerare atît timp cît nu există nici un motiv întemeiat pentru a o face. În acest scurt impuls spre pro-

iectul unei fizici a generării continue, Dirac este deci reținut nu de sentimentul unei contradicții evidente, ci de acela al unei intervenții imprudente și stingace. El pare să se teamă mai curînd de „gafă” decît de nebunie. Dealtfel, așa cum am notat într-o altă lucrare pentru a scoate mai bine în evidență anumite trăsături ale teoriei eddingtoniene, Dirac, beneficia de un temperament fericit, caracterizat în același timp de îndrăzneală creatoare și de rezervă în gîndire.

Tentația exista totuși, iar ezitarea lui Dirac trebuie menționată, împreună cu anumite idei ale lui Jeans care circulau insistent la vremea aceea, printre numeroasele semne care anunțau, în deceniul al patrulea, schimbarea concepțiilor în legătură cu conservarea entităților fizice, schimbare care este, cel puțin în parte, rezultatul descoperirii unei adevărate dimensiuni temporale în Univers.

III. Pascal Jordan ¹

Jordan se încumetă să facă acest pas și devine astfel primul fizician care propune o teorie cosmologică în care formarea materiei *ex nihilo* devine un fenomen fizic în sensul obișnuit al termenului. Teorie oarecum deconcertantă, la drept vorbind, și care justifică retrospectiv prudența lui Dirac, căruia Jordan voia să-i exploateze, să-i extindă și să-i consolideze concepțiile cosmologice. Deși el a și reușit într-o anumită măsură, concepțiile sale sînt mai puțin coerente, chiar nesigure în privința aptitudinii lor de a duce la înțelegerea datelor de observație, de a oferi o imagine netă și convingătoare despre Univers. Valoarea lor intrinsecă este deci discutabilă, însă interesul lor istoric și epistemologic nu poate fi pus la îndoială: Jordan a fost primul care a înfruntat deschis dificultățile pe care pe drept cuvînt Dirac le bănuia enorme — dificultățile pe care le întâlnește fizicianul atunci cînd postulează că în Univers cantitatea de masă-energie este variabilă; aceleași cu care vor fi confrunțați, puțin mai tîrziu, Bondi, Gold și Hoyle.

În ceea ce privește problema cosmologică în sensul strict al cuvîntului, poziția lui Jordan este destul de originală, însă incomodă. După el, structura metrică a Universului se definește cu ajutorul unei soluții a ecuațiilor cîmpului gravitațional, dar aceste ecuații sînt diferite de cele ale lui Einstein. Ele sînt ecuațiile unei teorii mai complexe, astfel aleasă încît să permită exprimarea

¹ Anexa, X, C.

matematică directă a principiului lui Dirac. Teoria lui se baza deci pe considerente cosmologice, deși fusese inventată din cu totul alte motive. Faptul acesta alterează profund economia logică a cosmologiei lui Jordan : ea derivă din mai multe surse, ale căror aporturi sînt mai curînd juxtapuse decît unificate.

Pe de o parte, Jordan se consideră ca succesor al lui Eddington și al lui Dirac, ca depozitar al „ideii lui Dirac” (*diracsche Gedanke*), cum spune el, dedicat exploatarea unei comori prea repede abandonată de descoperitorul ei. Pe de altă parte, el reia pe cont propriu o teorie fizico-matematică elaborată de către relativisti în căutarea unei teorii unitare a cîmpurilor fizice, urmărind să găsească un formalism mai bine adaptat decît cel al relativității generalizate pentru exprimarea principiului lui Dirac. În sfîrșit, întorcîndu-se spre astronomie și geofizică, Jordan caută pe Pămînt și în aștri semnele unui proces de generare și de dispersare a materiei care să corespundă vederilor sale teoretice. Ceea ce rezultă pînă la urmă dă oarecum impresia unui *potpourri*.

1. Exploatarea ideii lui Dirac (*diracsche Gedanke*).

Pentru Jordan, meritul lui Eddington constă mai ales în a fi remarcat problema numerelor mari și în a o fi scos în evidență atît de clar încît nu mai poate fi uitată. În ceea ce privește rezolvarea ei, Eddington nu a găsit-o, iar metodele sale nu o pot furniza ¹. Numai principiul lui Dirac o poate da. Pînă aici, acordul dintre Jordan și Dirac este perfect, așa cum este și asupra uneia din consecințele importante ale principiului : aceea că „constanta” gravitației este în realitate variabilă, proporțională cu inversul epocii cosmice.

Dar Jordan încearcă să întărească justificarea principiului lui Dirac. Dacă numerele adimensionale și efectiv constante trebuie să difere puțin de unitate, acesta este în primul rînd un fapt matematic : toate teoriile matematice simple pun în evidență numere ca $\sqrt{2}$, care măsoară diagonală pătratului de latură 1, 4π , aria sferei de rază 1, $2\pi^2$, volumul spațiului riemannian de rază 1, primul zero al unei funcții Bessel etc., numere care diferă puțin de unitate. Aceasta face ca numerele foarte mari să apară ca niște entități care, chiar din punct de vedere matematic, sînt complexe și greu de interpretat. La aceasta se adaugă, natural, constatarea că combinațiile adimensionale ale numerelor din fizică sînt în general de ordinul unității ².

¹ *Schwerkraft und Weltall*, Brunswick, 1952, p. 135.

² *Formation of the Stars and Development of the Universe*, Nature, 164, 1949, pp. 631—640.

Jordan încearcă pe de altă parte să lărgască baza empirică a raționamentului lui Dirac și opune în mod deliberat metoda inductivă a cosmologiei sale aspectului deductiv al altor teorii¹. În acest fel definește el „vîrsta” Universului, mai empiric decît Dirac, ca durată maximă a proceselor cosmice cunoscute și măsurabile în mod rațional, ceea ce dă un rezultat efectiv comparabil cu inversul constantei lui Hubble (cîteva miliarde de ani). El încearcă chiar, cu mai puțin succes însă, să privească raza Universului (pe care îl presupune închis) ca pe o mărime măsurabilă empiric. Jordan revine astfel la finitismul lui Eddington, acceptînd, spre deosebire de Dirac, că masa finită a Universului crește odată cu timpul.

Finitismul lui Jordan nu are dealtfel o justificare cu mult mai solidă decît cel al lui Eddington sau al lui Lemaître. În teoria matematică pe care el o substituie pînă la urmă relativității generalizate, ecuațiile cîmpului admit de asemenea soluții cosmologice în care spațiul are o curbura pozitivă, negativă sau nulă și Jordan trebuie să recunoască pînă la urmă că „tendința autorului de a nu lua în serios din punct de vedere fizic decît cazul $\epsilon = 1$ — care corespunde spațiului închis — trebuie considerată poate ca insuficient fundamentată²”.

Într-adevăr, nici unul din cele două argumente folosite pînă acum pentru justificarea finitismului nu este deosebit de convingător: el prezentase ipoteza Universului finit ca singura ipoteză capabilă să rezolve paradoxul lui Olbers³. Dar, așa cum notează Bondi⁴, curbura spațiului nu schimbă cu nimic paradoxul lui Olbers: dacă este adevărat că, spațiul fiind închis, nu mai există decît un număr finit de surse luminoase în Univers, este de asemenea adevărat că în absența expansiunii (care rezolvă paradoxul în toate cazurile), închiderea spațiului anulează efectul de împrăștiere a radiației, căci cercurile mari pot fi parcurse indefinit de către aceiași fotoni.

Jordan credea, pe de altă parte — și nu era el singurul — că numărarea galaxiilor îndepărtate, făcută de către Hubble, aducea nu numai dovada închiderii spațiului, ci și măsura razei sale de curbura, în epocă actuală. Dar este general admis că, date fiind enormele dificultăți practice și teoretice pe care le ridică numărarea galaxiilor, concluziile lui Hubble erau foarte premature.

¹ *Die Herkunft der Sterne*, Stuttgart, 1947, p. 9.

² *Schwerkraft und Weltall*, op. cit., p. 104.

³ *Die Herkunft der Sterne*, op. cit., p. 14.

⁴ *Cosmology*, op. cit., p. 22.

2. Generarea de materie nouă.

Punctul în care, în numele lui Dirac, Jordan se îndepărtează cel mai mult tocmai de Dirac, este, așa cum am spus, variația masei cosmice cu timpul, consecință inevitabilă — în acest sistem de concepte — a finitismului. Jordan mai dă încă acestei aserțiuni revoluționare o interpretare relativ clasică, pentru că se străduiește să o împace cu principiul conservării energiei. Într-adevăr, una dintre relațiile dintre numerele mari se poate scrie în așa fel încît să pună în evidență egalitatea dintre energia de repaus a masei cosmice și energia potențială totală a cîmpului gravitațional pe care această masă îl induce asupra ei însăși. Cum energia gravitațională trebuie considerată cu semn negativ, aceasta sugerează că energia totală a Universului este nulă și că apariția materiei „proaspete” se face în condiții care nu alterează această proprietate.

Este tocmai ceea ce se produce, după Jordan, în fenomenul de *supernova*, binecunoscut astronomilor. Această apariție bruscă pe cer a unei stele extraordinar de strălucitoare, care se stinge apoi progresiv, este atribuită în general, ca și apariția mai frecventă și mai puțin spectaculoasă a novelor, exploziei unei stele preexistente, explozie a cărei origine este căutată de astrofizicieni într-un avatar determinat de suita de procese nucleare care marchează „viața” anumitor stele. Pentru Jordan, dimpotrivă, cel puțin unele supernove au o cu totul altă cauză; ele ar rezulta din injec-tarea în Universul observației a unor „picături de materie” extrem de condensate și aflate în expansiune. Între energia potențială gravitațională a „picăturii”, masa sa (de ordinul de mărime al maselor stelare) și energia cinetică pe care ea o dobîndește în procesul de dispersare parțială ar exista astfel de relații încît bilanțul energetic ar fi constant nul, în așa fel încît generarea „picăturii” nu ar avea nici o influență asupra energiei totale a Universului, care rămîne întotdeauna nulă.

Vom da ceva mai departe cîteva indicații asupra motivației geometrice a acestei presupuneri cosmogonice.

3. „Relativitatea proiectivă”.

Jordan a fost preocupat mai serios decît Dirac să dea principiului variației numerelor mari cu timpul cosmic o expresie teoretică riguroasă. Problema constă în a ști cum și cu prețul cărei modificări a teoriei relativității, coeficientul care figurează în partea dreaptă a ecuațiilor lui Einstein poate fi tratat ca o constantă, ca un scalar legat de cîmp. Jordan consideră că rezolvarea se află în teoria „relativității proiective”, elaborată în 1921 și dezvoltată de atunci înapoi de diverși autori, mai ales

în Franța, de Lichnérowicz și Thiry¹. Pînă la Jordan, această teorie rămăsese cu totul străină de cosmologie. Ea avea scopul de a exprima într-un limbaj matematic mai satisfăcător și mai bine unificat conținutul fizic al ecuațiilor lui Maxwell și al ecuațiilor lui Einstein și se situează deci în ansamblul cercetărilor care urmăresc crearea unei teorii unitare a cîmpurilor fizice.

Așa cum îl expune Jordan, principiul constă în înlocuirea celor patru coordonate obișnuite ale spațiu-timp-ului cu cinci coordonate omogene. Scrise în aceste coordonate, ecuațiile lui Maxwell și ecuațiile lui Einstein nu mai sînt covariante decît față de un anumit tip de transformări. Aceste transformări formează însă un grup care exprimă în mod unic invarianța relativității generalizate și pe cea proprie ecuațiilor lui Maxwell².

Iată cum și în ce scop se servește Jordan de teorie ca mijloc de exprimare a ideilor sale cosmologice: în locul celor patrusprezece variabile ale cîmpului (cele zece componente $g_{\mu\nu}$ din relativitatea generalizată și cele patru componente Φ_λ din ecuațiile lui Maxwell), relativitatea proiectivă introduce cincisprezece variabile. Cum, inițial, această teorie nu fusese elaborată pentru a adăuga ceva nou conținutului fizic al teoriilor precedente, numărul variabilelor trebuie să fie restrîns printr-o condiție suplimentară, matematic arbitrară, care constă în a da unui invariant fundamental o valoare numerică constantă. Acesta este prilejul extinderii pe care o căuta Jordan. În loc să fixeze cea de-a cincisprezecea variabilă, el identifică invariantul fundamental cu „constanta” gravitației, care devine astfel o funcție de coordonate³. Jordan își atinge astfel scopul — acela de a înlocui ecuațiile lui Einstein prin niște ecuații mai generale, în care κ figurează ca o variabilă⁴.

În Germania, mai mulți autori au încercat să dea acestei teorii a lui Jordan o dezvoltare oarecum paralelă cu cea a relativității generalizate. Heckmann a construit o soluție a ecuațiilor lui Jordan analoagă soluției lui Schwarzschild a ecuațiilor lui Einstein. Ludwig și Müller au definit soluții cosmologice prin aplicarea acelorași condiții restrictive de izotropie și de omogenei-

¹ Lichnérowicz consideră improprie denumirea de „relativitate proiectivă”. Ea ar corespunde într-adevăr metodei de prezentare a lui Jordan, în locul căreia Lichnérowicz, ca și Thiry, preferă folosirea unei varietăți riemanniene pentadimensionale (*Théories relativistes de la gravitation et de l'électromagnétisme*, Masson, Paris, 1955, pp. 151—214); cum scopul nostru este să prezentăm ideile cosmologice ale lui Jordan, îi vom păstra limbajul.

² *Schwerkraft und Weltall*, op. cit., §§ 22—24, pp. 110—127.

³ *Schwerkraft und Weltall*, op. cit., § 26, pp. 127—133.

⁴ *Ibid.*, § 28, pp. 137—145.

tate ca în cosmologia relativistă, dînd astfel, după dorința lui Jordan, o expresie matematică riguroasă „ideii lui Dirac”¹.

Din păcate, cu toate că aceste deduceri sînt complicate, avantajul pe care îl prezintă rezultatele lor asupra acelor ale cosmologiei relativiste nu reiese în mod evident, alegerea unui model cosmologic nu este mai bine determinată și se regăsesc toate dificultățile legate de singularitatea inițială. În ceea ce privește exprimarea matematică a ipotezei generării „picăturilor” de materie ici și colo în cosmos, ea nu este deosebit de simplă. Să ne mulțumim în această privință cu o imagine destul de curioasă de care se servește Jordan și care îi este inspirată de forma teoriei sale : faptul că se servește de cinci coordonate omogene sugerează, prin analogie cu geometria obișnuită, că Universul cvadridimensional este un fel de con scufundat într-un spațiu cu cinci dimensiuni vîrfurile sale ar corespunde stării punctuale și singulare a Universului la timpul $t = 0$; dar nu ar fi imposibil să existe și alte vîrfuri subsidiare, de unde ar porni alte suprafețe conice, care ar ajunge să întîlnească suprafața conică principală, injectînd în spațiu-timp o materie proaspătă și explozivă, cea a supernovelor².

În sfîrșit, nu se poate spune că Jordan ar fi rezolvat problema pusă de Eddington. El nu aduce nici o dovadă cu privire la valabilitatea principiului lui Dirac, iar argumentele pe care le invocă în favoarea variabilității lui κ sînt prea indirecte pentru a putea fi luate în mod serios în considerație, mai ales că descreșterea ipotetică a lui κ trebuie să fie, în perioade relativ recente, destul de mică pentru a nu antrena consecințe incompatibile cu ceea ce se poate presupune în mod rațional în legătură cu trecutul Pămîntului³.

Totuși, cum am spus mai sus, enigma numerelor mari este privită în continuare ca atare de către cosmologi care, în majoritate, fac cel puțin aluzie la ea atunci cînd întîlnesc în raționamentele lor una sau alta din relațiile puse în evidență de Eddington, Dirac sau Jordan. Mulți sînt convinși că aceste relații exprimă o corespondență ascunsă între legile microfizicii și cele ale cosmo-

¹ *Ibid.*, § 30, pp. 158—164.

² *Formation of Stars . . .*, artic. cit.

³ După Jordan, variația lui κ ar explica faptul că : *a.* stelele duble, a căror formare este, după el, consecința instabilității rotaționale a stelelor, s-au putut îndepărta încetul cu încetul pînă la distanțele interne mari măsurate (în conformitate cu perioadele de rotație); *b.* ar face mai probabilă teoria lui von Weizsäcker cu privire la formarea planetelor; *c.* ar furniza o explicație plauzibilă a separării maselor continentale pe suprafața Pămîntului (printr-un efect de decomprimare și de dilatare a Pămîntului după solidificarea scoarței). *Schwerkraft und Weltall*, op. cit., § 33, pp. 191—201.

logiei, iar spiritul eddingtonian continuă să anime anumite cercetări în acest sens ¹.

În ceea ce privește posibilitatea folosirii unui formalism mai complex decât cel al relativității generalizate pentru a insera istoria cosmică și, mai ales, generarea de materie nouă, într-un hiperspațiu cu cinci dimensiuni, aceasta a fost avută în vedere și de alți autori și în această privință lui Jordan nu îi lipsește concurenții ².

B. Abandonarea principiului cosmologic și a timpului cosmic. Universuri relativiste „în rotație”, anizotrope sau neomogene

Punînd în 1917 problema cosmologică, Einstein introdusese dintr-o dată dubla ipoteză că distribuția materiei în spațiu este omogenă și că, în orice punct, Universul prezintă înfățișări izotrope pentru orice observator în repaus față de *substratum*-ul cosmic luat în ansamblul său. Este ceea ce Milne va numi, așa cum am mai spus, „principiul cosmologic al lui Einstein”, iar mai târziu pur și simplu „principiul cosmologic”. Dacă ne gîndim la cunoștințele empirice de atunci despre Univers și la tot ceea ce s-a aflat după aceea, precum și la dezvoltarea teoretică a cosmologiei care a urmat, sintem tentați să vedem aici o exemplificare a acelei aptitudini pe care Einstein, așa cum spune el însuși, o dobîndise foarte timpuriu în fizică — aceea de a adulmeca urma care poate duce în profunzime ³ (*«dasjenige hinauszuспüren was in die Tiefe führen konnte»*). Exemplul ar fi însă îndoielnic, pentru că Einstein nu găsisese totuși secretul devenirii universale.

În orice caz, sprijinită de descoperirile de la Mount Wilson, teoria relativistă a Universului s-a dezvoltat sub imperiul principiului cosmologic, iar atunci cînd Milne și concurenții săi au vrut să separe cosmologia de teoria relativității, ei s-au bazat tocmai pe acest principiu.

Într-adevăr, ideea unui Univers neomogen sau anizotrop, sau și una și alta, este în același timp și foarte tentantă și foarte

¹ S. HAKAYAMA, A. TANAKA, *Cosmological Implications of Physical Constants*, Progress of Theoretical Physics, Japan, 25, 5, 1961, pp. 858—860.

² Vezi, de exemplu, V. A. BAILEY, *The Steady State Universe and the Deduction of Continual Creation of Matter*, Nature, 184, 8, 1959, pp. 537—538.

³ *Autobiographisches*, în *Einstein, Philosopher...*, op. cit., p. 16.

dificil de pus în practică. De fapt ea apare de la sine din momentul în care se pune o problemă precisă cu privire la legătura eventuală a proprietăților structurale ale Universului — sau a unei anumite trăsături a evoluției sale — cu un proces „local” care se poate imagina în mod rezonabil plecând de la observație. Ca exemple pot servi confruntarea dintre mișcarea de expansiune cosmică și condensarea materiei în galaxii și a galaxiilor în roiuri, contrastul subliniat de Milne între expansiunea cosmică și rotațiile locale, observate atât de curent, sau ajustarea diferitelor scări temporale de evoluție. Se vede imediat cât de nepotrivite sînt ipotezele de uniformitate cu proprietățile concrete ale obiectelor cosmice. Dar, pe de altă parte, cum să te lipsești de principiul cosmologic, prin ce să-l înlocuiești? În baza cărui criteriu poți determina acel grad de eterogenitate care ar fi suficient pentru a absorbi în mod rezonabil neregularitățile locale și, în același timp, suficient de limitat pentru a se putea vorbi încă de Univers, pentru a asigura măsurătorilor din astronomie uniformitatea metrică fără de care acestea ar fi lipsite de sens?

În ceea ce privește ipoteza timpului cosmic, am arătat destul de detaliat mai înainte de ce se impune ea și de ce îi deranjează totuși pe cosmologii fideli teoriei relativității. Este suficient să evocăm neînțelegerile și surprizele suscitade de Universul lui de Sitter pentru a reaminti ce problemă delicată întîmpină o cosmologie care vrea să se lipsească de ea, așa cum vor arăta și mai bine dealtfel, ciudatele proprietăți ale lumii „în rotație” a lui Gödel.

Totuși în ultimii cincisprezece ani, mai mulți autori au explorat în mod cu totul independent, posibilitățile care apar în cosmologia relativistă în cazul în care abandonează fie parțial, fie total principiul cosmologic sau postulatul timpului cosmic, sau pe amîndouă. Toți acești autori se sprijină bineînțeles pe teoria relativității generalizate. Într-adevăr nu te poți lipsi în același timp de ambele suporturi ale cosmologiei moderne. Postulatele de uniformitate fac ca cosmologia să existe independent de ecuațiile lui Einstein, dar dacă am vrea să renunțăm în același timp și la postulatele cosmologice și la ecuațiile relativiste, nu ar mai exista nici un fel de cosmologie¹.

¹ Această afirmație ar putea să pară simplistă, pentru că, după Heckmann, toate modelele relativiste au un echivalent în teoria newtoniană. Dar aceasta nu micșorează cu nimic semnificația observației noastre: pentru o cosmologie lipsită de principiul cosmologic este necesară o teorie a gravitației, iar cea a lui Einstein este unanim considerată ca cea mai bună.

Dacă lăsăm la o parte un memoriu al lui Einstein și Strauss publicat în 1945, asupra căruia vom reveni ¹, primele două tentative deliberate de a construi un Univers relativist abandonând postulatele robertsoniene par a fi cele două încercări contemporane ale lui K. Gödel și G. C. Omer ². Cu greu s-ar putea găsi ceva mai frapant decât contrastul dintre intențiile, spiritul și metodele acestor doi autori și ceva mai semnificativ în ceea ce privește diversitatea intereselor care animă gândirea cosmologică. Omer, în calitate de discipol fidel al lui Tolman, căuta înainte de toate un model de univers care să pună de acord teoria relativității cu măsurătorile lui Hubble mai bine decât o făceau modelele robertsoniene. Lucrarea sa este un exercițiu de cosmologie inductivă. Kurt Gödel, dimpotrivă, vine în cosmologie ca filozof și ca matematician, fără a se preocupa de telescoape sau de ideile înaintașilor. După propria sa mărturie, el caută ilustrarea unei filozofii idealiste a timpului, care neagă realitatea obiectivă.

Cercetările mai recente ale lui Raychaudhuri, Heckmann, Schücking, Robinson, pe de o parte, și Lindquist și Wheeler, Pachner și a unor autori sovietici, pe de alta, au o mai mare generalitate, deși obiectivele lor rămân limitate. Scopul lor este de a folosi mai mult resursele teoriei relativității și de a reda o oarecare suplețe axiomelor robertsoniene.

Pentru primul grup, care rămâne credincios ipotezei fluidului cosmic perfect și omogen, adaptarea ipotezelor la acest model hidrodinamic trebuie să permită evitarea inconvenientelor care decurg din existența singularității inițiale și din nepotrivirea scării timpului. Mai ambițios, cel de-al doilea grup vrea să se lipsească de postulatul omogeneității, păstrându-l în schimb pe cel al izotropiei, și să obțină o structură metrică a Universului prin racordarea unor soluții locale ale ecuațiilor lui Einstein.

Încercarea lui Omer nu mai prezintă decât un interes istoric; ea era inspirată de un Tolman care îmbătrânea, din ce în ce mai empirist, din ce în ce mai convins că ipotezele de uniformitate, ale căror consecințe le explorase atât de bine, erau artificiale, avînd în vedere faptul că confruntarea lor cu măsurătorile și numărările lui Hubble dezamăgea în cele din urmă. Tolman avea prea multă încredere în observație în general și, în particular, în aceea a celebrului astronom, la opera căruia fusese asociat

¹ *The Influence of the Expansion of Space on the Gravitational Fields Surrounding the Individual Stars*, Rev. Mod. Phys., 17, 1945, pp. 120—124.

² K. GÖDEL, *An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Field Equations*, Rev. Mod. Phys., 21, 3, 1949, pp. 447—450; G. C. OMER, *A Non-homogeneous Cosmological Model*, Astrophys. J., 109, 1949, pp. 164—176.

ocazional, pentru a acorda atenția cuvenită acelei remarci a lui Milne după care „ortodoxismul” pozitivist îl ia în deridere pe teoretician atunci când faptele îl dezminț, dar tace pudic atunci când rezultatele experiențelor, date ca adevăruri indiscutabile față de care nici o idee nu poate avea întâietate, se dovedesc în cele din urmă eronate...

Omer voia să arate mai ales că abătându-se, chiar discret, de la principiul cosmologic, putea construi un model de univers relativist în conformitate cu faptele de observație așa cum le stabilise și le interpretase Hubble la Mount-Wilson.

El păstra dealtfel cea mai mare parte a postulatelor robertsoniene. Dar Universul — infinit — încetează să mai fie omogen, iar dacă pentru observatorul uman acesta prezintă înfățișări izotrope, aceasta se datorează poziției particulare a acestui observator în vecinătatea centrului, căci densitatea crește pornind de la centru. Modelul se află pretutindeni în expansiune uniformă, dar viteza de expansiune este variabilă plecând din centru, totul petrecându-se ca și cum expansiunea ar fi început în centru și s-ar propaga ca o undă sferică cu viteză finită.

Concluziile lui Hubble în această privință fiind acum abandonate, motivele speciale pe care le putea avea Omer pentru a alege acest tip particular de univers au dispărut, ceea ce face ca teoria sa să pară destul de lipsită de temei și scoate mai bine în evidență principalul său inconvenient, acela că restaurează antropocentrismul pe care cosmologia părea să-l fi înlăturat definitiv și complet. Omer și-a atins desigur unul din scopurile propuse explicit, acela de a demonstra „flexibilitatea” teoriei relativiste, în prezența unor rezultate imprevizibile ale observației. Dar el a mai dovedit un lucru la care fără îndoială nu se aștepta nici el, nici Tolman: fragilitatea unei cosmologii construite special pentru a urma îndeaproape ultimele rezultate ale observației astronomice...

I. Universul „în rotație” al lui Gödel și călătoria în trecut

Universul lui Gödel a apărut din niște idei cu totul diferite. Proprietățile surprinzătoare și chiar paradoxale ale Universului lui de Sitter rezultau din structura sa metrică, fără ca această structură să fi fost inventată tocmai în scopul de a produce astfel de proprietăți. Dimpotrivă, celebrul logician de la Princeton a fabricat dinadins o metrică cosmică cu intenția de a deduce din ea unele consecințe cărora le atribuie importanță filozofică, cu toate că contrazice bunul simț. El nu s-a arătat surprins descoperind

ciudățeniile care se puteau petrece într-un Univers pe care avea aerul că îl consideră adecvat imaginii lumii reale. Gödel se declară convins într-adevăr, că în teoria relativității este prezentă încă de la începuturile ei o filozofie idealistă a timpului; ceea ce vrea să arate este că, dezvoltând toate consecințele implicate de relativitatea simultaneității, se poate obține „o dovadă fără echivoc în sprijinul tezei acelor filozofi care, ca Parmenide, Kant și idealiștii moderni, neagă obiectivitatea schimbării și o consideră ca o iluzie sau o aparență datorată modului nostru special de percepție”¹. Într-adevăr, existența unei scurgeri obiective a timpului semnifică faptul că realul poate fi împărțit într-o suită de straturi de „acum” care intră succesiv în existență. Or, după teoria relativității, clivajul straturilor trebuie raportat la un observator ales. Conceptul de existență în sine nu admite însă relativitatea, „nu poate fi relativizat fără a i se distruge complet semnificația”. Prin urmare, excluzând posibilitatea ca trecerea timpului — adică separarea straturilor de „acum” care intră, au intrat sau vor intra în existență — să fie *absolută*, teoria relativității exclude de asemenea posibilitatea ca ea să fie *obiectivă*. Totuși, cosmologia obișnuită, în măsura în care se sprijină pe ipoteza timpului cosmic, ferește Universul real de consecințele acestei concluzii. Aceasta determină scopul cercetării lui Gödel, care este acela de a arăta printr-un contraexemplu că ipoteza timpului cosmic este străină de spiritul teoriei relativiste și că, în ipoteza uzuală a fluidului cosmic omogen și cu o densitate medie diferită de zero în Univers, există soluții cosmologice ale ecuațiilor lui Einstein (cu termenul în Λ), în care definirea unui timp absolut este imposibilă, neputându-se distinge vreun sistem de referență a simultaneității și a succesiunii de oricare altul, dacă nu se face referirea la un obiect cosmic individual, de exemplu o anumită galaxie.

Modelul de univers care rezultă din această cercetare prezintă proprietăți extraordinare care decurg tocmai din faptul acesta². Totuși, geometria sa este relativ simplă. Ea nu poate fi împărțită în spațiu și în timp decât local, dar reprezintă o varietate foarte simetrică și foarte regulată. Curbura sa spațio-temporală este constantă și negativă (natural, nu se poate spune nimic global despre curbura spațiului, pentru că nu pretutindeni există

¹ *A Remark About the Relations hip Between Relativity Theory and Idealistic Philosophy*, în *Einstein, Philosopher . . .*, op. cit., pp. 555—562. Ca exemplu de „idealist modern”, Gödel îl citează pe McTaggart și articolul său *The Unreality of Time*, publicat în *Mind*, 1908.

² Anexa, VII, ec. 78.

„spațiu” separat de timp). Metrica este statică, liniile de univers ale materiei sînt linii infinite de gen temporal, echidistante. În acest model nu poate să apară nici o deplasare spre roșu de origine structurală (ceea ce face îndoielnică identificarea sa cu Universul observației).

Proprietățile cele mai interesante ale Universului gödelian rezultă din absența timpului cosmic. În primul rînd, acesta este anizotrop în orice punct, în sensul că în principiu se poate observa în orice punct o rotație universală în raport cu sistemul de inerție local, ceea ce evidențiază o direcție. Lucrul cel mai important este însă acesta: cu toate că se pot trasa pretutindeni linii de gen temporal — singurele care pot reprezenta mișcările și acțiunile materiale — cu toate că în fiecare punct și pe fiecare din aceste linii se poate distinge *un sens pozitiv al timpului*, în care aceste linii sînt în mod necesar parcurse de materie și acțiunile materiale, există linii de gen temporal închise. Existența acestor linii închise are următoarea consecință. Dacă evenimentul P îl precede pe Q pe o linie de gen temporal deschisă, L_1 , există și o linie de gen temporal închisă, L_2 , trecînd prin P și Q , pe care Q îl precede pe P , sau, mai mult: dacă o entitate fizică cvasipunctuală parcurge spațiu-timp-ul după L_1 , în sens pozitiv, ea „trece” prin punctul-eveniment P înainte (după calendarul ei) de a „trece” prin punctul-eveniment Q ; dacă parcurge spațiu-timp-ul după L_2 , în sens pozitiv, ea trece prin Q înainte (după calendarul ei) de a trece prin P . S-ar putea deci reveni în trecut, fără a parcurge totuși timpul în sens invers. Dacă ar fi vorba de o ființă umană, aceasta ar continua să „trăiască”¹...

De fapt, chiar fără a ține cont de expansiune, călătoria ar fi impracticabilă dacă Universul real ar fi conform modelului lui Gödel, date fiind distanțele enorme care ar trebui parcurse pe liniile de timp închise și vitezele enorme cu care acestea ar trebui să fie parcurse². Important este însă faptul de a se fi arătat că

¹ Aceste concluzii ale lui Gödel au fost contestate, prudent și în mod parțial de către Chandrasekhar și Wright, în cadrul unui studiu general al geodezicelor în modelul lui Gödel, *The Geodesics in Gödel's Universe*, Proc. Nat. Acad. Sc. U.S.A., 48, 1961, pp. 341—347.

² Luînd pentru densitatea medie a materiei valoarea admisă empiric, călătorul lui Gödel care ar dori să atingă un moment din trecutul său în t ani (măsurati în timpul său propriu) — presupunînd că dispune de un „carburant” în întregime convertibil în energie — ar trebui să ia cu el o masă de carburant egală cu de $10^{22}/t^2$ ori masa navei sale, adică, pentru o călătorie de zece ani și o navă de o tonă, o sută de miliarde de miliarde tone de carburant. Independent de durata călătoriei, viteza sa în raport cu Pămîntul ar trebui să nu fie mai mică de $1/\sqrt{2} = 0,7$ din viteza luminii, adică 210 000 km/s. A Remark..., mem. cit., p. 561.

întoarcerea în trecut nu este absurdă din punct de vedere fizic (cu toate că părea să nu poată fi pusă în acord decît cu mare dificultate cu principiul cauzalității, punctele-evenimente P și Q putînd să-și schimbe între ele poziția în relația de cauzalitate), în sensul că nu este în contradicție cu legile naturii exprimate prin ecuațiile lui Einstein. Astfel Gödel consideră încheiată demonstrația filozofică pe care o căuta.

Am fi superficiali dacă am vedea aici numai un joc conceptual lipsit de semnificație, căci compatibilitatea Universului gödelian cu ecuațiile lui Einstein și, mai mult, conformitatea sa cu spiritul teoriei relativității dau o anumită greutate acestei demonstrații.

Bineînțeles, se impune de la sine obiecția că un model de univers care nu explică deplasarea spre roșu a nebuloaselor nu poate avea nici o semnificație și că proprietățile sale în ceea ce privește legăturile dintre spațiu și timp trebuie să fie considerate, dacă se poate spune așa, deosebit de ireale. Într-adevăr, existența deplasării spre roșu transformă în asemenea măsură perspectivele asupra filozofiei timpului fizic, încît orice discurs care apare din această filozofie ar trebui să țină cont de ea ca de un fapt esențial.

Gödel a văzut desigur obiecția și a arătat mai târziu, într-o discuție mai generală asupra căreia vom reveni, că cel puțin pentru o anumită clasă de modele în rotație, expansiunea (sau contracția) și existența liniilor închise de gen temporal sînt proprietăți asociate între ele. Dar răspunsul său filozofic la această obiecție merită să fie prezentat și examinat. Demonstrarea compatibilității cu legile naturii a lumilor în care nu are loc o trecere obiectivă a timpului, spune el, aruncă și o oarecare lumină asupra semnificației timpului într-o lume în care o astfel de trecere poate fi definită efectiv. Căci dacă afirmăm că într-o astfel de lume are loc scurgerea timpului absolut, atunci sîntem conduși să admitem consecința că realitatea efectivă a acestei treceri depinde de o aranjare particulară a materiei și a mișcării în Univers. Este adevărat... Chiar dacă Gödel adaugă că o poziție filozofică care duce la o astfel de consecință „cu greu poate fi considerată ca satisfăcătoare”, de fapt el nu face decît să aducă o dovadă indirectă în sprijinul a ceea ce simpla existență a deplasării spre roșu sugerase cu o anumită insistență: că devenirea cosmică, dincolo de circumstanțele locale, ar putea fi un fel de fapt absolut, care depășește orice logică.

Dealtfel, demonstrația sa că realitatea trecerii timpului nu este deloc sigură este poate mai puțin decisivă decît lasă Gödel să se creadă. Într-adevăr, una din trăsăturile remarcabile ale analizei sale este aceea că pune perfect în evidență faptul că în mode-

lul său de univers, relația de precedare-succesiune este definită local fără echivoc în orice punct. În felul acesta, el cedează mult în favoarea unei ontologii a devenirii, căci convenția algebrică care permite, odată stabilit sensul timpului într-un punct, să se extindă această definire la orice punct vecin¹, nu este aplicabilă decît dacă, din punct de vedere fizic, plusul și minusul se deosebesc unul de celălalt, în scurgerea timpului, printr-un criteriu experimental, și dacă, trecînd de la un punct la altul, folosirea convenției algebrice nu intră în contradicție cu criteriul fizic. Altfel spus, trecerea timpului trebuie să fie recunoscută ca „obiectivă”, cel puțin local. Problema dacă aceasta este sau nu în conformitate cu ideea pe care și-o face Gödel despre o filozofie idealistă a timpului rămîne de importanță secundară, căci oricum ar fi, ceea ce are sens pînă la urmă este disjuncția dintre trecerea timpului ca fenomen local și diferențial, și relația înainte-după aplicată la distanță spațio-temporală finită. Cu obișnuita sa perspicacitate, Einstein a notat că discuția lui Gödel aducea o importantă confirmare tezei că tocmai posibilitatea de transmite a unui semnal dintr-un punct-eveniment în altul este cea care stabilește în definitiv orientarea relației temporale dintre ele. La distanță foarte mare criteriul își pierde sensul².

Să notăm de asemenea că dacă „aranjarea particulară a materiei și a mișcării” în Universul lui Gödel este astfel încît există linii închise de gen temporal, nu rezultă totuși că materia trebuie să parcurgă în mod natural sau spontan aceste linii. Ca toți cosmologii, Gödel, acceptînd ipoteza fluidului cosmic perfect, recunoaște prin această că materia formează o structură geometrică bine definită în continuum-ul spațio-temporal. În toate modelele cosmologice se stabilește de fapt o deosebire între mișcările naturale ale *substratum*-ului cosmic și acele traiectorii artificiale parcurse de particulele animate de viteze foarte mari față de reperul local aflat în repaus. În Universul gödelian, această deosebire capătă însă un relief aparte, căci „liniile de univers ale materiei” definesc un curs natural al lucrurilor pe care îl urmează aceste imense traiectorii forțate care revin în trecut, ca și cum înclinația naturală a ființei nu ar impune un destin inevitabil și ca și cum ar fi posibil să urmeze cu prețul unui efort gigantic aceste traiectorii fără a înceta totuși să trăiască, deci să dureze. Modelul lui Gödel conduce deci chiar în miezul filozofiei timpului.

¹ Sensul temporal al unui vector ξ^i este definit de semnul produsului scalar $g_{ik}\xi^i u^k$, u^k fiind cvadrivectorul care reprezintă viteza materiei în punctul considerat.

² *Reply to Criticism*, in *Einstein, Philosopher ...*, p. 667.

Dar el lămurește de asemenea, într-o manieră definitivă, „drastică” cum spune Heckmann, o problemă importantă pentru cosmologia modernă, pentru că de la ea se plecase inițial. Cum în acest Univers care este conform ecuațiilor lui Einstein — este adevărat cu o valoare negativă pentru Λ — Cosmosul în ansamblul său se rotește, în orice punct, în jurul reperului local de inerție, este clar că principiul lui Mach nu este incorporat în ecuațiile lui Einstein.

Trebuie totuși să ne ferim a ne reprezenta această „ rotație absolută ” prin imagini prea simple și să credem că modelul lui Gödel îi dă dreptate lui Clark împotriva lui Leibniz. Axa rotației cosmice nu este o dreaptă definită, căci omogenitatea Universului face ca rotația să fie observabilă în orice punct în jurul unei axe care trece prin acel punct. Cît despre perioada rotației, ea este definită în mod absolut din momentul în care densitatea medie a materiei este fixată. Ținînd cont de valoarea empirică a acestei densități, găsim că rotația absolută în Universul real ar fi atît de lentă încît nici nu s-ar putea pune problema observării ei directe de către om ¹.

Deși caracteristicile cele mai remarcabile ale Universului gödelian sînt legate de situația sa în raport cu timpul, este păcat totuși că autorul său nu a explicitat și consecințele cosmologice ale acestei extraordinare geometrii. Gödel schițează cel mult o explicație rapidă, cantitativă totuși, a uneia dintre ele : el se întreabă dacă rotația cosmică poate fi pusă în legătură cu rotația observată a galaxiilor. Dacă se admite că galaxiile, așa cum le observăm, s-au condensat în proporția de unu la două sute față de starea inițială a materiei din care s-au format (raport care se observă în medie între distanțele intergalactice și diametrele galaxiilor), legea conservării momentului cinetic dă o perioadă medie de cinci milioane de ani pentru rotația unei galaxii, număr evident prea mic față de cel observat, dar care nu este totuși absurd.

Ar rămîne să se explice neregularitatea observată în distribuția axelor de rotație ale galaxiilor. Într-un model static această explicație nu este posibilă din motive cosmologice. Ea este posibilă poate în modelele mai generale pe care Gödel le-a studiat după aceea.

Într-adevăr, la puțin timp după publicarea acestei prime cosmologii rotaționale, Gödel a propus o generalizare a ei studiind o clasă de modele care diferă de primul prin aceea că spațiul este finit și că se produce o expansiune — sau o contracție ². Din acest

¹ 2×10^{11} ani, adică două sute de miliarde de ani, cu o densitate de 10^{-30} g/cm³.

² K. GÖDEL, *Rotating Universes In General Relativity Theory*, Proc. Intern. Cong. Math., Cambridge, I, 1950, pp. 175—181. Despre sensul exact al cuvîntului „rotație” și al expresiei „spațiu finit”, vezi Anexa, VII.

studiu, din care Gödel nu dă decît rezultatele, reies cu destulă claritate anumite puncte de interes deosebit : existența liniilor închise de gen temporal (care, în acest al doilea memoriu, devin o „anomalie”) nu este o consecință necesară a rotației ; cel puțin în modelele care sînt finite spațial, nu există linii de acest fel dacă rotația este suficient de lentă pentru ca nici o viteză liniară de rotație să nu depășească viteza luminii. Aceasta obligă la reconsiderarea conceptului de timp cosmic : orice „rotație” exclude timpul cosmic în sensul robertsonian, cu simultaneitatea cosmică și poziția echidistantă a spațiilor tridimensionale instantanee — timpul cosmic *metric*, pentru a folosi expresia lui Gödel. Atunci cînd rotația este destul de lentă se poate totuși vorbi de un timp cosmic, pentru că există un sens unic pe toate liniile de gen temporal din Univers și pentru că este imposibil ca un același parametru să *crească* pe o linie de gen temporal care unește două puncte și să *descrească* pe o altă linie de același gen care unește aceleași două puncte. Aceasta este o dovadă importantă a faptului că un model relativist în rotație nu este în mod necesar incompatibil cu un Univers orientat temporal în ansamblul său, așa cum se pare că este cel în care trăim.

Cît despre raportul dintre rotație și expansiune sau contracție, acesta este relativ simplu și poate fi înțeles prin analogie cu mecanica clasică : expansiunea încetinește rotația, contracția o accelerează. În modelele finite spațial considerate de către Gödel, faptul acesta nu are însă nici o consecință asupra orientării temporale, care depinde numai de viteza *liniară* maximă a rotației.

Pe de altă parte, în aceste modele mai generale nu este necesar ca direcția unei rotații locale să se transporte paralel cu ea însăși de-a lungul liniilor de univers ale materiei ; aceasta nu are loc decît în cazul particular în care expansiunea este izotropă. Incoerența axelor de rotație ale galaxiilor încetează să mai fie acum un obstacol în interpretarea acestei rotații ca manifestare locală a rotației cosmice. Într-adevăr, în cazul general direcția rotației unei galaxii ar depinde de momentul în care ea s-a format. Anizotropia expansiunii și legătura ei cu mișcarea de rotație ar putea, după Gödel, să fie suficiente pentru explicarea formei spirale a galaxiilor.

Este adevărat că marea generalitate a fenomenului rotației în Univers apăsărea oarecum în cele mai multe teorii cosmologice și cosmogonice ca un fel de ciudățenie, iar rotația cosmică a lui Gödel ar avea aprioric avantajul de a fundamenta existența rotațiilor

pe o trăsătură structurală a Universului. Dar, aparent, Gödel nu se preocupă prea mult de cosmogonie; poate că, pentru el, problemele genezei își pierd interesul tocmai datorită absenței unei adevărate semnificații ontologice a devenirii.

II. Cosmologia relativistă după memoriile lui Gödel

Situate în cadrul cosmologiei moderne, cercetările lui Gödel apar, prin intenție, metodă și rezultate, ca o intervenție insolită, ca încă unul din acele momente prețioase pentru noi în care filozofia intervine, în felul său necuviincios și aproape scandalos — dar înarmată aici cu un talent excepțional și cu o matematică invincibilă — în desfășurarea unei științe care este ea însăși excepțională, încercînd de bine, de rău să se facă recunoscută ca „normală”. La drept vorbind, intervenția lui Gödel era mai discretă decît cea a lui Milne, dar în același timp mai jenantă, fiind mai respectuoasă față de „ortodoxismul” relativist. În orice caz, ea a suscitat o indignare mai puțin zgomotoasă, opinia științifică rezonabilă apărîndu-se mai curînd printr-o tăcere destul de îndelungată împotriva indecenței acestui călător în trecut, față de care celebrul călător al lui Langevin nu este decît un plimbăreț de mahala.

Trebuie să recunoaștem dealtfel că „înăbușirea” modelului gödelian nu se explică numai prin aceste rațiuni de securitate intelectuală și de apărare a bunelor moravuri științifice. Filozofia lui Milne fusese susținută de mișcarea de expansiune cosmică, iar staționaritatea singurului model pe care îl elaborase Gödel în mod explicit era supărător de inactuală. Cît despre modelele mai generale, pe care le-a discutat puțin mai tîrziu, acestea aveau inconvenientul de a introduce în mod aparent arbitrar și fără vreun avantaj evident dificultăți matematice considerabile. Într-adevăr, la început Gödel nu admisesese rotația cosmică decît din rațiunile filozofice despre care am vorbit, însă din punct de vedere al reprezentării Universului această idee părea destul de gratuită atîta timp cît nu exista o dovadă convingătoare că ea ar putea furniza o explicație satisfăcătoare a tot ceea ce se rotește în Univers la scară mare. „Folosirea adecvată” a rotației cosmice n-a fost descoperită decît mult mai tîrziu, atunci cînd Heckmann a putut să demonstreze că un model în rotație, pe care dealtfel îl presupune newtonian pentru mai multă simplitate, comportă posibilitatea unei inversări a contracției în expansiune, evitîndu-se singularitatea. Dar Gödel se preocupase foarte puțin de singularitatea cosmologică.

În acest fel cosmologiei relativiste i-au mai trebuit câțiva ani pentru a depăși net cadrul robertsonian.

Această nouă tendință este explicată cel puțin prin două motive. Primul motiv este banal : nimic nu oprește pînă la urmă curiozitatea matematicianului ; or, spre deosebire de cea a naturalistului sau a istoricului, care este deseori atrasă de detaliu, de unic, de excepțional, curiozitatea matematicianului nu și-a schimbat caracterul de la Platon pînă astăzi, ea merge drept la idei, adică la universal. În principiu, o ipoteză limitativă nu este acceptabilă pentru un matematician decît dacă s-a stabilit clar sistemul de concepte pe care-l implică și s-a căutat cel puțin să se vadă ce s-ar întîmpla dacă ipoteza ar fi abandonată.

Dar mai există și un alt motiv, pe care îl cunoaștem bine și care de la descoperirea deplasării spre roșu nu a încetat să acționeze ca un ferment pentru întreaga gîndire cosmologică : poate că este posibil ca, abătîndu-ne puțin de la ipotezele robertsoniene, să definim această structură mobilă din punct de vedere cosmologic pe care o impune observația, evitînd enigma fizică sau metafizică a singularității inițiale la distanță scurtă în trecut. Cosmologilor li s-au oferit două căi destul de diferite, iar pînă în prezent nu s-a ajuns la nici o convergență între ele :

a. Reforma cea mai radicală și cea mai îndrăzneată ca principiu ar fi și cea mai conformă cu spiritul inductiv al cosmologiei relativiste : ea ar consta din reconstituirea piesă cu piesă a Universului, racordînd soluțiile „locale” — sau „regionale” — ale ecuațiilor lui Einstein corespunzătoare distribuțiilor de materie observate la scara galaxiilor sau a roiurilor de galaxii. Cosmologia s-ar baza atunci pe ipoteze mai puțin artificiale decît cea a fluidului cosmic continuu, omogen și perfect. În plus, ea ar dispune de un mijloc prin care proprietățile structurale ale Cosmosului pot fi puse în acord cu proprietățile fizice ale marilor ansambluri astronomice care devin accesibile observației puțin cîte puțin.

Dar, cel puțin pentru moment, executarea acestui program se lovește de dificultăți insurmontabile. Dat fiind caracterul neliniar al ecuațiilor lui Einstein, compunerea efectelor exercitate de diferite distribuții de masă și de energie asupra metricii spațio-temporale nu poate asculta de o lege simplă. Mai mult, teoria relativității întîlnește aici, dar într-o formă agravată, dificultățile binecunoscute din fizica clasică, dificultăți care țin direct și în mod esențial de forma diferențială a teoriilor fizice. Fiind date distribuții arbitrare de sarcini și de mase, aceste sarcini și mase vor produce desigur în vecinătatea lor efecte electromagnetice și gravitaționale, dar aceasta nu înseamnă că *vor exista*, în sensul matematic al cu-

vîntului, soluții ale ecuațiilor care să reprezinte fenomenele. Într-adevăr, nu este exclus ca distribuțiile date să impună soluțiilor condiții incompatibile între ele și ca efectele fizice produse să nu mai poată fi descrise prin expresii matematice compatibile cu cele care sînt valabile local și care se integrează în cazurile mai simple, în conformitate cu experiența. A spune că teoria relativității nu garantează că Universul există...din punct de vedere matematic, este poate un joc de cuvinte, dar nu lipsit de sens.

De asemenea, atunci cînd Lichnérowicz propune pentru termenul „model de univers” o definiție riguroasă care să dea o expresie satisfăcătoare din punct de vedere teoretic principiului relativist, după care geometria spațio-temporală este determinată de distribuția maselor și a energiei, el definește un ideal cu totul inaccesibil cosmologiei¹. El constată că „se știe foarte puțin cu privire la soluția generală a unor astfel de probleme”. Iar Heckmann se face ecoul acestor constatări, scriind : „Pînă în prezent, problemele matematice care stau la baza încercării de a aborda cosmologia prin observație nu au fost rezolvate².”

Cercetările în vederea reconstituirii Universului ca varietate metrică pornind de la distribuțiile materiale care îl compun s-au limitat pînă în prezent la studiul mai mult sau mai puțin rafinat a ceea ce Heckmann numește „modele cu vacuole” sau, mai pitoresc, „modele-șvaițer”, adică universuri făcute prin racordarea de „vacuole” identice, de formă regulată și distribuite regulat, în interiorul cărora o masă punctuală situată în centru determină o metrică presupusă suficient de apropiată de o metrică Schwarzschild.

b. Mult mai natural situate în prelungirea rezultatelor dobîndite de cosmologia relativistă sînt cercetările care, ca cea a lui Gödel, păstrează ipoteza fluidului cosmic perfect extins în spațiu-timp, omogen, animat însă de „mişcări” ceva mai complicate decît expansiunea izotropă pe care i-o conferă cosmologia robertsoniană.

Aceste cercetări sînt în curs de desfășurare și nu se poate spune că ar fi adus pînă acum cosmologiei vreun rezultat la fel de important ca descoperirile de acum treizeci de ani ale lui Einstein, de Sitter sau Friedman. Autorii care s-au angajat pe cea de-a doua cale au dorit mai ales să pună în evidență consecințele pe care le-ar putea avea abandonarea ipotezei izotropiei asupra singularității Universului în expansiune. În această privință, concluzia lor este

¹ *Théories relativistes . . .*, op. cit., pp. 65—66.

² *World Models*, mem. cit., în *La structure et . . .*, op. cit., p. 150.



netă : un grad slab de anizotropie ar putea modifica considerabil, sub acest raport, concluziile inducției spre trecut. În ceea ce privește modelele neomogene, înainte de a studia mai îndeaproape câteva exemple, să remarcăm că tocmai pe această cale pare să se fi angajat cosmologia în țările socialiste, mai ales în Uniunea Sovietică.

a. Mobilizarea fluidului cosmic. Universuri anizotrope

Într-atît de mari sînt efectele produse asupra uniformității metrice a cadrului spațio-temporal de cea mai mică concesie făcută variației — chiar numai în sens cinematic — a conținutului, încît chiar dacă ne menținem la ipoteze foarte simple asupra fluidului cosmic, sau, așa cum spune Heckmann, „la o formă foarte rudimentară de hidrodinamică”, este posibil un număr foarte mare de universuri mai mult sau mai puțin complicate.

Prima încercare sistematică de a lărgi în acest sens cadrul ipotezelor robertsoniene asupra fluidului cosmic, după cea a lui Gödel, pare să fi fost cea a lui Amalkumar Raychaudhuri¹. În afara expansiunii izotrope, fluidul cosmic perfect poate avea și alte două „mișcări”, rotația și forfecarea². Scopul cosmologului indian, scop pe care îl atinge datorită unei alegeri potrivite a coordonatelor, este acela de a generaliza ecuația lui Friedman, introducînd termeni care exprimă mișcările de rotație și de forfecare și rezultă clar că alura istoriei cosmice și existența unei singularități la originea expansiunii se modifică sensibil. În conformitate cu ceea ce prevede analogia clasică cu forța centrifugă, rotația exercită un efect opus gravitației și accentuează mișcarea de expansiune; forfecarea care deformează fluidul cosmic transversal, acționează, dimpotrivă, în sensul condensării. Rezultă că, în cazul în care rotația este nulă³, fără alte ipoteze, existența unei forfecări, departe de a atenua dificultatea legată de singularitate, o accentuează în măsura în care ea scurtează trecutul expansiunii, care este maxim atunci cînd forfecarea este nulă, adică în cazul robertsonian. Este adevărat că existența forfecării dă — pentru o valoare dată a densității medii la un moment dat — o mai mare

¹ *Relativistic Cosmology*, Phys. Rev., 4, 1955, pp. 1123—6.

² Amintim că aceste „mișcări” nu sînt mișcări ale materiei în spațiu, ci metrica spațio-temporală este „cea care se mișcă”, deoarece expansiunea, rotația și forfecarea afectează substratum-ul, fără a prejudicia deplasarea particulelor față de acest substratum. Vezi Anexa, VII, ec. (73—74—75).

³ Existența rotației exclude timpul cosmic și antrenează o forfecare, dar forfecarea nici nu antrenează cu necesitate rotația, nici nu exclude timpul cosmic.

libertate în alegerea constantei Λ și, în consecință, permite o o mai bună ajustare a acestei alegeri astfel încît să se împingă înapoi singularitatea. O astfel de manipulare nu este însă prea acceptabilă datorită arbitrarului său și Raychaudhuri se alătură părerii lui Einstein și a multor alți cosmologi, după care o teorie cu adevărat satisfăcătoare ar trebui să presupună că $\Lambda=0$. Rezultatul, limitat, însă demonstrat cu toată rigurozitatea, mai curînd dezamăgea.

Totuși, Schücking și Heckmann, făcînd cîțiva ani mai tîrziu inventarul principalelor tipuri de modele anizotrope, au arătat că dacă forfecarea nu contribuie la împingerea înapoi a *momentului* singularității, ea poate în schimb să aibă o influență decisivă asupra *naturii* sale¹. În universurile izotrope, în momentul singularității spațiul se reduce la un punct. Din punct de vedere fizic, aceasta înseamnă că atunci materia este condensată pînă la densități atît de mari, încît legile fizice cunoscute devin probabil inaplicabile — și, în orice caz, supraviețuirea oricărei structuri materiale de tip cunoscut este exclusă. Or, în modelele anizotrope considerate de Schücking și Heckmann, în momentul singularității spațiul nu este redus la un punct, ci își pierde, dacă se poate spune așa, numai una sau două din dimensiunile sale: fluidul cosmic se aplatizează, ca o picătură de ulei la suprafața apei, sau se alungește ajungînd la o linie. Ținînd cont de scara la care este valabilă aproximarea materiei prin fluidul cosmic din teorie, spațiul, la momentul singular, poate fi încă considerat destul de „gros” pentru a conține multe lucruri: cele două dimensiuni, sau chiar unica dimensiune care rămîne, permit dispersarea materiei în așa fel încît anumite structuri cel puțin și, odată cu ele, legile fizice cunoscute, ar putea traversa fără a se deteriora prea mult o „gîtitură”.

Continuînd cercetările lui Schücking și Heckmann, B. B. Robinson² a făcut un studiu aprofundat al unei clase de modele destul de simple, în care forfecarea este funcție numai de timp, și în care spațiul poate degenera într-o suprafață sau o linie, dar niciodată într-un punct. Modelul este omogen și foarte ortodox, în sensul că ecuațiile lui Einstein sînt aplicate fără termenul cosmologic. El comportă un timp cosmic care este pretutindeni ortogonal spațiului, iar spațiul este, instantaneu, euclidian. Ca urmare, nu există o rotație a Universului, dar există o forfecare, căci coeficienții diagonali ai metricii spațiale sînt funcții de timp diferite unele de

¹ *World Models*, în *La Structure et l'Évolution...*, pp. 149—158.

² *Relativistic Universes With Shear*, Proc. Nat. Acad. Sc. U.S.A., 47, 1961, pp. 1852—7. Anexa, VII, ec. 84.

altele, în așa fel încît raportul unităților de lungime luate pe fiecare din axe se modifică de la un moment la altul. Cele trei funcții de timp sînt astfel alese încît să nu aibă un zero comun, evitîndu-se astfel singularitatea punctuală. În general, singularitățile sînt linii, iar uneori, atunci cînd numai unul dintre coeficienți se anulează pentru o valoare dată a timpului cosmic, sînt suprafețe. Cînd timpul cosmic tinde către infinit, toate modelele lui Robinson se apropie asimptotic de Universul Einstein-de Sitter. Se pare că înfățișările izotrope ale Universului observat nu exclud un grad de anizotropie care este suficient pentru ca singularitatea relativ apropiată în trecut, pe care o indică expansiunea, să fi putut fi de tip superficial sau liniar, nu punctual. Desigur ar trebui să știm ce ar deveni proprietățile fizice ale corpurilor în vecinătatea acestor singularități, dar aceasta este o problemă care, după cîte știm, nu a fost tratată sistematic.

Nu numai forfecarea poate transforma trecutul expansiunii. După părerea lui Raychaudhuri și conform analogiei clasice, același lucru trebuie să fie valabil și pentru rotație. Dar efectele sale sînt mai dificil de dedus, datorită eliminării timpului cosmic și intervenției inevitabile a unui efect de forfecare. Heckmann, care în toate lucrările sale cosmologice a menținut mereu un paralelism riguros între cosmologia newtoniană și cosmologia relativistă, ocolește dificultatea discutînd versiunea newtoniană a problemei¹. Dacă în ecuația lui Friedman (sau mai curînd în analogul newtonian al acesteia) se introduce rotația, se constată că factorul de expansiune $R(t)$ nu se mai poate anula și că „mișcarea” trebuie să se inverseze, trecînd de la contracție la expansiune, pentru o valoare finită a densității. Folosind date empirice actuale și ipoteze plauzibile cu privire la viteza expansiunii, Heckmann arată că o rotație chiar extrem de mică, neobservabilă la scara măsurărilor umane, ar putea impune un maximum al densității perfect compatibil cu „supraviețuirea” stelelor, chiar a galaxiilor, după trecerea printr-o „gîtuitoră” foarte largă.

Fie că o evită, sau că o transformă prin intervenția rotației sau a forfecării, lucrările autorilor citați au dovedit deci că singularitatea punctuală nu este consecința inevitabilă a expansiunii, așa cum reieșea din cosmologia robertsoniană. Trebuie să atragem însă atenția că această eventuală eliminare a stării hiperdense nu ar rezolva problemele puse de istoricitatea Universului. Or, aceste probleme sînt de neînlăturat pentru cosmologia relativistă, din momentul în care aceasta admite postulatul timpului cosmic

¹ On the Possible Influence of a General Rotation on the Expansion of the Universe, *The Astrophys. Journal*, 66, 10, 1961, pp. 599—603. Anexa, VIII, ec. 97.

la care nimeni pînă acum, cu excepția lui Gödel, nu a renunțat în mod clar și fără echivoc, căci Heckmann evită problema tratînd rotația în cadrul teoriei newtoniene, unde evident există un timp cosmic. Modelul staționar al lui de Sitter fiind exclus de ecuațiile lui Einstein într-un Univers care nu este vid, iar deplasarea spre roșu eliminînd modelul static al lui Einstein, Cosmosul relativist are obligatoriu o istorie. De unde și întrebarea pusă lui Heckmann de unii dintre auditorii comunicării pe care tocmai am prezentat-o : dacă Universul a putut traversa pretinsa singularitate fără ca condițiile existenței fizice să fi fost total transformate, cum se face că există încă surse de alimentare a proceselor cosmogonice ireversibile, ca fuziunea hidrogenului în heliu sau formarea piticeilor albe? Heckmann a răspuns că el nu a pretins să explice istoria termodinamică a Universului, ci numai să arate că este inexact să se spună că legea lui Hubble implică existența unui *big-bang* în sens strict... Acest răspuns îl disculpa desigur pe autorul său, căruia nu i se poate reproșa că nu rezolvase o problemă pe care el nu o pusese, dar nu ducea totuși la dispariția problemei în sine. În acest punct deci discutarea problemei structurii conduce o dată mai mult la problema genezei, căreia îi va fi consacrat capitolul următor.

b. Modele izotrope și neomogene. „Universul-rețea”

Din punct de vedere metodologic, cercetările contemporane asupra modelelor de univers neomogene se deosebesc destul de mult de cele precedente. Cu toate că și ele introduc ipoteze simplificatoare drastice — fără de care, cum s-a spus, metoda ar avea puține șanse de izbîndă — ele provin totuși mai direct dintr-un principiu de inducție. În loc ca totalitatea cosmică, finită sau infinită, să fie dată de la început, sub forma unui mediu continuu și omogen presupus a satisface în orice punct ecuațiile lui Einstein pentru cazul interior, Universul este clădit pornind de la elemente distincte. Prin urmare, nu există o soluție cosmică a ecuațiilor, ci soluții locale care se racordează. De fapt, structurile locale sînt întotdeauna definite prin singura soluție cunoscută a ecuațiilor cîmpului care, mai ales datorită proprietăților sale de simetrie, se pretează la posibilitatea unei sinteze cosmologice : soluția statică exterioară a lui Schwarzschild, care descrie metrica generată de o masă punctuală în jurul ei, soluția extinzîndu-se și la cazul în care masa centrală este repartizată într-o sferă omogenă¹.

¹ Vezi de exemplu R. C. TOLMAN, *Relativity...*, op. cit., § 82, pp. 201—205. § 96, pp. 245—247.

Conform unei teoreme a lui Birkhoff¹, dacă simetria sferică este respectată, mișcările din interiorul sferei nu modifică câmpul exterior.

Einstein și Strauss au fost primii care au studiat îndeaproape problemele puse de inserarea vacuolelor Schwarzschild într-un Univers în expansiune². La drept vorbind, scopul lor nu era acela de a construi un nou model de univers, ci de a examina dacă expansiunea globală a Universului ar putea avea vreo influență asupra legilor de mișcare din interiorul vacuolei, dacă, de exemplu, mișcarea planetelor în jurul Soarelui ar putea fi afectată. Concluzia lor a fost că există întotdeauna un anumit domeniu sferic în interiorul căruia soluția statică a lui Schwarzschild se aplică cu rigurozitate, efectul expansiunii izotrope fiind acela de a deplasa frontierele acestui domeniu.

Trebuie deci să li se recunoască lui R. W. Lindquist și J. A. Wheeler³ prioritatea în căutarea unui adevărat model de univers neomogen, dar izotrop — a unui „Univers-rețea”, după propria lor expresie. Analogia hidrodinamică este abandonată în favoarea unei alte analogii, sugerată de fizica solidului. Într-adevăr, autorii se inspiră din metoda Wigner-Seitz pentru analiza funcțiilor de undă ale unei rețele cristaline. Asemenea unui cristal, Universul este compus din celule și pentru obținerea soluției globale trebuie racordate soluțiile locale. Deoarece însă în cazul cosmologic forma ecuațiilor nu este aceeași ca în problema Wigner-Seitz, nu poate fi valabil același tip de condiții de racordare la frontierele celulelor, iar noile condiții de racordare vor servi tocmai pentru a determina dinamica Universului considerat în ansamblul său. Într-adevăr, la frontiera dintre două celule producându-se în mod necesar o discontinuitate, această situație poate fi interpretată presupunând că centrele de masă ale celor două celule se mișcă în raport cu frontiera în așa fel încât să anuleze discontinuitatea. Dacă repartiția celulelor ascultă de condiții convenabile de regularitate și de simetrie, trebuie să rezulte o mișcare generală de expansiune sau de contracție a ansamblului.

Din această discuție, pe care am simplificat-o la extrem, se schițează o idee atrăgătoare pentru filozof : proprietățile întregului ar rezulta din legile de compunere pe care le impune natura elementelor ; ele ar putea fi construite deci, nu impuse aprioric sau

¹ R. C. TOLMAN. *Relativity* ..., § 99, pp. 252—253.

² *The Influence of the Expansion of Space on the Gravitational Fields Surrounding the Individual Stars*, Rev. Mod. Phys., 17, 1945, pp. 120—124.

³ *Dynamics of the Lattice-Univers by the Schwarzschild Cell Method*, Rev. Mod. Phys., 29, 3, 1957, pp. 432—443.

deduse în mod hazardat pornind de la observația cea mai îndepărtată, adică cea mai nesigură. Dacă ne amintim că soluția lui Schwarzschild reprezintă baza tuturor verificărilor experimentale ale relativității generalizate cunoscute pînă în prezent, sîntem tentați să ne gîndim că drumul propus de Lindquist și Wheeler este sigur din punct de vedere epistemologic.

Numai că executarea acestui program este departe de a merge de la sine : pe o hipersferă tridimensională de comparație, N puncte vor fi dispuse în așa fel încît fiecare să fie echidistant față de vecinii săi cei mai apropiați, ceea ce limitează numărul de valori posibile pentru N , cea mai mare fiind șase sute. În jurul acestor puncte, luate ca centre, se vor decupa pe hipersferă N celule poliedrice a căror metrică se va identifica cu metrica unei celule Schwarzschild avînd același centru și condiții de racordare convenabile la frontiere. Găsirea acestor condiții este dealtfel o problemă delicată din punct de vedere geometric, pentru că, exprimîndu-ne foarte grosier, este vorba de aproximarea cuburilor prin sfere și de înlocuirea acestor pseudo-cuburi, care se includ exact unele în celelalte, prin sfere care sau se întretaie, sau lasă între ele o „țară a nimănui” (*no man's land*). Foarte delicată este de asemenea ajustarea timpului local din fiecare celulă, unde el depinde de distanța de la centru, cu un timp cosmic legat de hipersfera de referință.

Dinamica globală care rezultă din această ajustare subtilă este apropiată de cea a unei hipersfere omogene cu aceeași masă, mai precis cu cea a unui Univers închis oscilant de tip Friedman-Einstein¹; cu cît numărul de celule este mai mare cu atît se apropie mai mult de acest model, ceea ce confirmă indirect valoarea de aproximație a ipotezei uniformității.

În ceea ce privește singularitatea sau singularitățile istoriei cosmice, cosmologia lui Lindquist și Wheeler conduce la rezultate cu totul diferite de cele ale cosmologiei anizotrope a lui Raychaudhuri și Heckmann și nu se poate spune că, la fel ca aceasta din urmă, ea ar putea contribui prea mult la liniștirea îngrijorării fizicienilor și astronomilor față de perspectiva — sau retrospectiva — unei stări hiperdense a Universului. Prin însăși existența pseudo-celulelor Schwarzschild, a căror metrică nu poate fi regulată în vecinătatea centrului, singularitățile locale sînt multiplicare, iar trecerea Universului în întregul său prin starea de contracție maximă ar putea avea drept consecință dispariția oricăror domenii în care metrica poate fi regulată — ceea ce nu poate să nu suscite curiozitatea lui J. A. Wheeler, care, de multă vreme își obișnuise cititorii să se miște în excepțional...

¹ Anexa, VI, C, 2, ec. 70.

Versiunea Universului-rețea al lui Lindquist și Wheeler pe care o propune Jaroslav Pachner conduce spre alte orizonturi¹. Pachner, care pare să fi fost încurajat în cercetările sale de L. Infeld, colaborator al lui Einstein și veteran al relativității, vede în încercarea predecesorilor săi o reîntoarcere fericită la adevărata metodologie einsteiniană. Toate nenorocirile cosmologiei relativiste ar proveni din faptul că aceasta a dorit să se servească de membrul al doilea al ecuațiilor lui Einstein și să facă ipoteze la scară cosmică asupra naturii „tensorului material” $T_{\mu\nu}$. Pachner spune că știe de la Infeld că Einstein considera introducerea acestui tensor în ecuații ca o dovadă de „prost gust”. În orice caz, după Pachner, trebuie să ne lipsim de el în cosmologie, semnificația sa fiind de fapt atât de imprecisă încât te poți servi de el pentru a exprima orice, chiar — și mai ales, cum fac Hoyle și McCrea — generarea *ex nihilo*. Altfel spus, problema cosmologică ar trebui readusă la discutarea ecuațiilor pentru cazul exterior, particulele materiale nefigurând decât ca singularități ale câmpului. Metoda lui Lindquist și Wheeler este deci cea bună. Pachner folosește rezultatele și simplifică postulatele acestora și le generalizează. Printre altele, el nu mai presupune că spațiul omogen de referință este închis. El le acordă încredere cu privire la partea cea mai delicată poate a lucrării, admitând valoarea aproximării celulelor rețelei cosmice prin celulele Schwarzschild și poate astfel enunța cele trei axiome ale cosmologiei sale :

1. Geometria cosmică este riemanniană și poate fi definită o curbura medie a spațiului, K_1 .
2. Universul este împărțit în N celule egale, N fiind finit sau infinit, și masa prezentă în fiecare celulă determină la frontiera sa o curbura spațială \bar{K} .
3. $\bar{K} = K_1$.

Originalitatea lui Pachner constă în interpretarea cu ajutorul acestor axiome a anumitor concepte tradiționale ale cosmologiei relativiste. El nu ezită să introducă o relație între *densitatea* Universului și raza de curbura a modelului izotrop și omogen de comparație. Procedul pare într-adevăr puțin surprinzător : introducând ecuații în care intervine *densitatea* — care este în mod tradițional una din componentele tensorului material atât de riguros proscris — Pachner revine nici mai mult nici mai puțin la ipoteza fluidului cosmic și la metodele cosmologiei relativiste „clasice”. Dealtfel, puritatea logică a construcției contează prea puțin și

¹ Zur relativistischen Kosmologie, Ann. der Phys., 8, 1961, pp. 60—75.

ceea ce este interesant este că Pachner spune cu privire la această *densitate* și la relațiile în care apare ea multe lucruri remarcabile... tocmai ceea ce reproșează el altora că pun pe seama tensorului material. El presupune, într-adevăr, că densitatea depinde direct de timp (timpul cosmic revine odată cu modelul izotrop de comparație) printr-o funcție arbitrară. Aceasta revine însă la a admite posibilitatea unei generări sau a unei anihilări de materie-energie, care este, pe de altă parte, după relațiile lui Pachner, legată de valoarea constantei cosmologice Λ .

Dacă constanta Λ este nulă, cantitatea de materie-energie se conservă și Universul corespunde aproximativ modelelor Friedman-Einstein. (În clasificarea lui Pachner, Univers de tip I). Dacă Λ este pozitivă (respectiv negativă), se generează continuu materie-energie (respectiv se anihilează). În cazul generării continue, se pot face două ipoteze relativ la condițiile acestei generări: sau rămâne constantă densitatea masei noi (Univers de tip II), sau cea a masei totale (Univers de tip III). În acest din urmă caz, metrica omogenă de referință este cea a lui de Sitter, Pachner regăsind astfel, prin intermediul cosmologiei relativiste, teoria stării staționare...

Deși afirmă că nu citează cazurile II și III decât cu titlu informativ și se limitează la cazul I, care implică conservarea cantității de materie-energie, Pachner introduce totuși în formulele unei cosmologii care se vrea relativistă ipoteza generării continue.

Chiar dacă nu ia în considerație generarea continuă ca ipoteză fizică, el este în orice caz înclinat să discute foarte pe larg posibilitatea *transmutației* formelor de materie-energie unele în altele. Ca urmare, Pachner propune, cel puțin într-unul din articolele sale¹, o soluție destul de neașteptată a problemei singularității: el presupune că energia cinetică a expansiunii ar putea fi asimilată unui anumit tip de masă, „masa lui Hubble”. Într-un Univers aproximat de un model închis al lui Friedman (tip I, cu conservare), expansiunea se încetinește înainte de a se transforma în contracție. După Pachner, această decelerație ar însemna condensarea energiei cinetice în masă, cu apariția continuă de noi stele și galaxii în tot timpul fazei de expansiune. În punctul maxim, deoarece întreaga „masă Hubble” este condensată în materie, Universul ar începe să se contracte din ce în ce mai repede sub acțiunea gravitației. Accelerarea mișcării s-ar traduce prin evaporarea materiei în energie cinetică pînă cînd, în punctul maxim al contracției, întreaga materie fiind transformată în mișcare, rea-

¹ *Dynamics of the Universe*, Acta Phys. Pol., 19, 6, 1960, pp. 662—673.

pare expansiunea. Nu ar exista deci în istoria Universului o stare hiperdensă, pentru simplul motiv că contracția ar face să dispară masa.

Această schemă ingenioasă, dar hazardată, trebuie să fie confruntată cu considerațiile lui Tolman și Zaanstra asupra termodinamicii modelelor relativiste oscilante. Într-un articol ulterior, Pachner pare să uite această primă presupunere: funcția arbitrară de timp, de care depinde densitatea materiei, ar putea fi considerată ca o funcție de raza de curbură a spațiului de referință. În acest caz, ea ar avea următorul sens fizic: pe lângă forma obișnuită, cu efect gravitațional, a materiei, ar putea exista și alte forme care nu ar avea influență asupra geometriei cosmice.

Cercetările asupra modelelor relativiste neomogene și asupra condițiilor racordării lor la modelele de tip Friedman-Einstein¹ sînt la ordinea zilei în Uniunea Sovietică. Un studiu al lui Șirokov și Fisher² se bazează pe ipoteze de lucru mai puțin restrictive decît cele ale lui Pachner. Acești autori admit folosirea tensorului material în membru al doilea al ecuațiilor lui Einstein, dar, spun ei, acest tensor nu reprezintă decît o medie, pentru că de fapt materia și energia sînt discontinue. Așadar, trebuie ca și tensorii geometriei din primul membru să fie considerați ca medii, iar componentele $g_{\mu\nu}$ trebuie considerate ca suma unei metrici medii și a neregularităților locale, ceea ce introduce importante complicații matematice. Concluzia autorilor este însă că, dîndu-se metricii cosmologice această formă mai exactă, singularitatea punctuală a modelelor Friedman-Einstein ar putea pur și simplu să dispară.

¹ Este vorba de soluțiile ecuațiilor lui Friedman în care constanta cosmologică este nulă și de modelele celei de-a doua cosmologii a lui Einstein; vezi Anexa, V, VI.

² M. F. ȘIROKOV, I. Z. FISHER, *Isotropic Space with Discrete Gravitational Field Sources* (trad. engl.), *Soviet Astronomy*, 6, 1963, pp. 699—705.

Partea a treia

TIMP ȘI COSMOGONIE



Capitolul VIII

DEVENIREA COSMICĂ

Capitolele precedente ar fi trebuit să arate suficient de clar că punerea și discutarea problemei cosmologice, în sens strict, a problemei structurii, precum și logica internă a tuturor soluțiilor propuse pînă în prezent conduc de la sine la punerea problemei genezei. Descoperirea modelelor cosmologiei relativiste a însemnat totodată și descoperirea faptului că nu există aproape nici un motiv pentru a presupune că Universul poate fi reprezentat printr-o metrică statică. Foarte curînd după aceea gîndirea cosmologică a ajuns să fie dominată de enigma singularității inițiale la un interval finit în trecut — și este dominată și acum. Această enigmă a motivat recent diversele încercări făcute în interiorul teoriei relativității în vederea lărgirii cadrului ipotezelor robertsoniene; ea este de asemenea cea care a încurajat cosmologia să iasă din cadrul teoriei relativității, pentru că teoria stării staționare, mai ales, s-a prezentat întotdeauna ca o teorie capabilă să furnizeze un remediu drastic împotriva acestei maladii congenitale a cosmologiei moderne. În orice caz, cosmologia structurală trebuie, după preceptul lui Zaratuștra, să găsească simboluri, care să vorbească despre timp și despre devenire și să găsească o justificare pentru ceea ce este pieritor.

Tocmai spre aceasta se îndreaptă astrofizica, prin propria sa evoluție, independent de relațiile sale cu cosmologia. Progresele conjugate ale fizicii experimentale și ale observației astronomice au fost atît de mari, încît la toate scările și în toate domeniile astrofizicii problemele de geneză și de evoluție sînt la ordinea zilei. Stele, sisteme planetare, grupări de stele de orice natură și de orice dimensiuni, galaxii și roiuri de galaxii, iar la cealaltă extremitate speciile atomice, toate acestea au încetat de a mai fi considerate pur și simplu ca entități care trebuie descrise în starea în care le vedem. Presupunerea tradițională a astronomiei, aceea că obiectele cerești sînt forme stabile și permanente, a fost înlocuită prin pre-

judecata contrară, care duce la bănuiala că, dincolo de înfățișările statice ale cerului — datorate instantaneității observației umane — se ascund transformarea și mișcarea. O stea variabilă sau o novă erau pentru clasici obiecte aberante, ciudate chiar; pe cînd astăzi permanența este cea care pare a constitui excepția. Întreg tabloul cosmic, cu detaliile sale uneori incredibil de fine, se află antrenat într-un vârtej gigantic.

Se va spune poate că problema originii lumii și cea a sfîrșitului timpului sînt tot atît de vechi ca și civilizația și că, în ciuda lui Parmenide și a ilustrațiilor săi urmași, lui Heraclit nu i-au lipsit niciodată discipolii. Dar atenția trebuie îndreptată spre ceea ce este cu adevărat nou, poate din punct de vedere metafizic nou, în concepția modernă a devenirii cosmice. Este adevărat că problema cosmogonică a frămîntat întotdeauna spiritul, iar astrofizica nu face decît să transforme în discurs pozitiv vechile visări despre timpul nașterii și al morții. Dar punerea problemei structurii a transformat sensul problemei cosmogonice. Într-adevăr, nu este vorba numai de devenirea lucrurilor în spațiu, ci de devenirea spațiului și a ființei înseși a timpului. Conținutul timpului nu poate fi separat de timp mai mult decît conținutul spațiului de spațiu, așa încît rezultatele cercetării structurale au un sens cosmogonic și, invers, orice progres în cunoașterea evoluției concrete a entităților materiale are implicații inevitabile asupra datelor problemei structurii. Există deci o legătură esențială între toate aspectele problematicei fizico-matematice a timpului, care datorită marilor dificultăți pe care le ridică, aproape că duce la disperare.

Cosmologii și astronomii par acum definitiv convinși de această omniprezență a timpului. Constatarea lui Coudere că „vrînd-nevrînd, astronomul anului 1960, făcînd cosmologie, face în același timp cosmogonie¹”, este în acord cu maxima lui Ambartsumian, după care :

„Problema cosmogonică este problema fundamentală a astronomiei și a astrofizicii. Orice problemă particulară, dar care prin implicațiile ei atinge principiile, va căpăta deci în mod inevitabil un sens cosmogonic chiar în cursul soluționării ei²”.

Fără îndoială însă că nu au fost explorate încă toate consecințele pe care le poate avea această întrepătrundere dintre devenirea formei și cea a conținutului. În particular, implicațiile descoperirilor

¹ *Des plus grandes distances aux plus grandes durées*, L'Astronomie, 1962, p. 329.

² *La Méthode en Cosmogonie*, în *Le Cosmos*, Recherches Internationales, 14—15, 1959, pp. 22—41.

astronomiei empirice și ale teoriei cosmologice asupra problemei — sau enigmei — ireversibilității fizice vor necesita probabil cercetări îndelungate și pline de răbdare. Tocmai asupra acestei joncțiuni, încă imperfecte, între cosmologie, cosmogonie și teoria ireversibilității fizice am dori să ne îndreptăm mai întâi atenția.

A. Ireversibilitatea fizică și cosmologia

Se știe că cel de-al doilea principiu al termodinamicii exprimă sub o formă matematică precisă, convenabilă în fizică, ideea vagă și confuză, indiscutabilă totuși, că fenomenele naturale urmează în general și de preferință un anumit curs care împiedică și limitează acțiunile tehnice ale omului, așa încît nu trebuie să ne așteptăm ca evenimentele să tindă spontan spre realizarea intențiilor noastre, ci dimpotrivă, spre uzarea și degradarea produselor activității noastre. Într-adevăr, sînt suficienți cîtiva zeci de mililitri de apă puși într-o sticlă care conține un vin de calitate pentru a nimici efortul secular a zece generații de viticultori; lichidul prețios nu va mai putea fi niciodată separat de cel obișnuit.

Cu cel de-al doilea principiu și cu noțiunea de entropie, fizica dispune de o lege de ireversibilitate a cărei generalitate nu este limitată în principiu de nimic, cu toate că pentru a o aplica trebuie să dispunem de relații care să asocieze entropia unui sistem în evoluție cu mărimi care să permită măsurarea acestei evoluții.

Or, cu toate că fondatorii termodinamicii nu au fost preocupați în primul rînd de această problemă, este natural ca această lege universală a ireversibilității să fie pusă în legătură cu cea mai indiscutabilă dintre toate evidențele, anume că timpul se scurge și se scurge întotdeauna în același sens.

Enigma apare din momentul în care se observă că toate legile fizice structurale, acelea care guvernează fenomenele elementare la care conduc analizele conceptuale și experimentale ale entităților fizice, sînt reversibile în raport cu timpul: dacă $f(t)$ este o soluție a ecuațiilor, atunci $f(-t)$ este de asemenea o soluție, care corespunde unor condiții inițiale simetrice. Or, valabilitatea legilor structurale ale fizicii, cel puțin cea a teoriilor clasice, nu mai poate fi pusă deloc la îndoială. Cum este oare posibil ca prin compunerea unor fenomene elementare, conduse de legi simetrice în raport cu timpul, să se obțină fenomene complexe, care ascultă de o lege de ireversibilitate? Aceasta este enigma.

Este cunoscut modul în care s-a încercat rezolvarea ei : legile structurale sînt legi elementare. Printre altele, cel de-al doilea principiu descrie fenomene macroscopice în care intervine un număr enorm de elemente. Ireversibilitatea este un efect de masă și tocmai în numerele mari trebuie căutată motivația multor fenomene. Adevăratul nume al entropiei este „probabilitate”. Sistemele fizice evoluează spontan spre distribuțiile macroscopice cele mai probabile, adică acelea care corespund configurațiilor microscopice cele mai numeroase. Punerea în formă matematică a acestei idei, operă a unor mari pionieri ca Boltzmann și Maxwell, a permis elaborarea teoriilor statistice care domină ramuri întregi ale fizicii. Dar se lămurește oare în felul acesta și enigma noastră? Fără îndoială că nu, se poate răspunde fără teama unei dezmințiri serioase. Și aceasta din mai multe motive, pe care, deși eventual se pot combina într-unul singur, este mai comod să le expunem separat la nivelul general la care ne situăm :

1. În primul rînd, interpretarea statistică a ireversibilității termodinamice dacă este examinată cu atenția cuvenită, scoate în evidență destul de clar faptul că este cel puțin imprudent să identificăm pur și simplu sensul *timpului* cu sensul vreunui proces fizic anumit. În paharul în care se toarnă apa, vârtejurile se dispersează, undele se amortizează propagîndu-se și reflectîndu-se de pereți ; cu cît lichidele se întrepătrund mai profund, cu atît moleculele lor se amestecă mai mult. La baza tuturor acestor fenomene de natură diferită și la scări diferite, se schițează clar un sens unic ; un același „*t*”, orientat în același sens, ar figura și în ecuația undelor și în cea a difuziei lichidelor, dacă am avea posibilitatea să scriem aceste ecuații. Energetica rezumă situația spunînd că entropia amestecului crește.

Dar ea nu va putea crește indefinit. O probabilitate poate atinge, dar nu poate depăși valoarea unu, adică amestecul va atinge o stare de omogenitate perfectă, care nu va putea apoi decît fie să se mențină, fie să se distrugă. Or, mișcarea moleculară nu încetează și timpul nu se oprește. Fenomenului de ansamblu, orientat în mod unic, îi urmează mișcări parțiale și locale de sens contrar, care fac ca sistemul să oscileze în jurul stării sale cele mai probabile. Înseamnă aceasta că timpul nu mai are o direcție unică ?

Răspunsul este ușor de dat, dar este compromițător : paharul și conținutul său nu reprezintă decît o mică parte a lumii, care nu poate fi izolat de mediul înconjurător decît prin abstractizare. La suprafața lichidului și prin pereți continuă să se producă interacțiuni între microcosmos și macrocosmos ; acestea definesc sensul timpului dincolo, sau dincoace, de situația internă a amestecului.

Dar este acesta răspunsul la întrebare? Nu este mai curînd o deplasare, și încă destul de periculoasă, a problemei? Căci este clar că un raționament de acest fel ne va conduce „din aproape în aproape” la totalitatea fenomenelor fizice. Dacă nu vrem să spunem nimic despre aceasta, ceea ce ar fi o atitudine prudentă, vom fi siliți să mărturisim că în concluzie nu se știe dacă timpul este într-adevăr orientat; aceasta l-ar pune pe fizician într-o situație la fel de bizară și de nepotrivită ca și pe filozoful care „neagă existența lumii exterioare”. Dacă, pe de altă parte, presupunem, fie chiar într-un mod cu totul abstract, că mulțimea fenomenelor cosmice formează un tot, în care sînt posibile în principiu interacțiuni directe sau indirecte între toate părțile sale, ne va fi greu să evităm, dată fiind extrema generalitate a raționamentelor termodinamice, considerarea acestui sistem ca supus, în evoluția sa, celui de-al doilea principiu. Universul ar trebui deci, după un timp suficient de lung, să atingă acea stare în care se găsește conținutul paharului după cîteva minute și în care entropia sistemului nu mai poate crește, orice evoluție globală fiind încheiată, nemaiputîndu-se petrece decît fluctuații locale și trecătoare. Într-o astfel de stare a Universului, săgeata termodinamică a timpului va dispărea. Ceva „se va mai petrece” totuși, vor avea încă loc „evenimente” care pot fi ordonate conform relației înainte-după. De data aceasta nu mai poate fi evitată întrebarea: este posibil să se conceapă un timp a cărui orientare să nu fie unică?

2. Introducerea noțiunii de probabilitate și a formalismului matematic corespunzător este desigur de o eficacitate indiscutabilă și nediscutată pentru toate problemele de masă, pentru toate cele care pot fi privite în perspectiva numerelor mari. Nu există probabil aspect asupra căruia fizica clasică și fizica modernă să fie într-un acord mai deplin. Dar acest succes practic nu înlătură echivocul epistemologic al conceptului. Controversa dintre „subiecțiști” și „obiectiviști” nu a putut fi niciodată rezolvată în mod categoric. Trebuie evident să fim de acord cu aceștia din urmă asupra faptului că, atunci cînd fizicianul, biologul sau agentul de asigurări atribuie o probabilitate unui eveniment, sau unui șir de evenimente, ei nu procedează în mod arbitrar, ci în funcție de ceea ce știu prin raționament și experiență despre ansamblurile considerate. (Ei nu spun ca Pascal într-un text celebru: pentru că nu există decît două eventualități, între care nu am nici un motiv să aleg, atribui fiecăreia dintre ele probabilitatea $1/2$). Dar trebuie să recunoaștem totuși că probabilitatea rămîne, pînă la un anumit punct, măsura ignoranței. Pe măsură ce ignoranța face loc cunoașterii, sau chiar aproximării cunoașterii, noțiunea de probabilitate



dispare. Astfel, cunoașterea mișcărilor Lunii nu este o problemă de probabilitate. Dacă această noțiune este atât de esențial legată de cunoașterea ansamblurilor, aceasta se datorește faptului că viziunea unui ansamblu este însoțită de o anumită miopie, care șterge deosebiriile dintre indivizi.

Dar dacă probabilitatea este o noțiune echivocă și dacă ireversibilitatea este o problemă de probabilitate, trebuie oare să spunem că sensul timpului este echivoc? Dacă, pe de altă parte, ea este categoric „subiectivă” și nu face decît să exprime un anumit raport între ceea ce știm și ceea ce ignorăm despre lucruri, nu rezultă de ce cursul real al evenimentelor ar avea vreo legătură cu ea. Cunoașterea și ignoranța sînt, printre altele, funcții de poziția gînditorului și a observatorului în timp. Ei ignoră în aceeași măsură trecutul și viitorul. Certitudinea este *hic et nunc*, pe cînd ignoranța emană pornind de aici.

3. Aceasta ne duce dealtfel la lucrul cel mai important: de fapt, nu este exact să se spună că interpretarea statistică a legilor termodinamicii indică sensul timpului, iar reversibilitatea legilor elementare nu este depășită prin intervenția numerelor mari. Nu vom intra în discuția delicată a acestor aserțiuni, dar putem considera problema înțeleasă. Dacă un sistem statistic se găsește la momentul t într-o stare suficient de îndepărtată de starea de entropie maximă — adică într-o stare „evolutivă”, în care săgeata timpului este bine definită — aceleași motive care ne permit să afirmăm că la momentul $t + \Delta t$ sistemul va fi într-o stare mai probabilă ne permit de asemenea să spunem că la momentul $t - \Delta t$ a fost într-o stare mai probabilă. Menținîndu-ne strict în cadrul legilor mecanicii statistice, teoremele de ireversibilitate pot să fie folosite la fel de bine în „retrodicție” ca și în „predicție”, după expresiile lui Costa de Beauregard¹. Există prezentul și non-prezentul. Legile statistice arată cum trebuie înțeleasă modificarea sistemului atunci cînd se trece de la unul la celălalt, dar nu permit specificarea acestui non-prezent în viitor sau în trecut.

Pînă în punctul acesta ne conduce analiza „clasică” a problemei. Desigur, dacă ne preocupă filozofia timpului fizic, aceste rezultate nu pot fi considerate satisfăcătoare. Or, este un fapt cunoscut că fizica, epistemologia și filozofia naturii s-au preocupat încontinuu de această problemă începînd din secolul trecut și se poate observa o creștere a interesului în ultimii ani, atestată în Franța de cercetările pătrunzătoare ale lui Costa de Beauregard.

¹ Vezi, de exemplu, H. WEYL, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Princeton, 1949, p. 203.

Așa cum era de așteptat, nu s-a stabilit nici pe departe un acord între toți autorii contemporani care s-au interesat de această aporie, nici măcar în ceea ce privește esențialul. Toți par să admită totuși, explicit sau implicit, un anumit număr de concluzii parțiale, pe care este bine să le punem în evidență.

a. Mai întâi, nu există o rezolvare a enigmei care să poată fi cuprinsă numai în cadrul axiomelor mecanicii statistice. Costa de Beauregard crede că trebuie adăugat un principiu de interdicție care să intervină efectiv pentru a împiedica folosirea legilor statistice în „retrodicție” și că acest principiu este extrinsec. Rosenfeld apreciază că „problema sensului timpului se pune la un nivel epistemologic mai profund decât nivelul statistic la care ea este examinată de obicei”¹.

b. Din trecerea de la fizica clasică la fizica relativistă, apoi la fizica cuantică, a rezultat desigur o schimbare a perspectivei asupra problemei ireversibilității, dar nu și o transformare esențială a datelor sale: reversibilitatea legilor elementare rămâne un fapt recunoscut, iar sensul celui de-al doilea principiu a fost lărgit și poate aprofundat, însă nu alterat. Valoarea sa rămâne încă necontestată.

c. Costa de Beauregard a demonstrat că există o unitate esențială a tuturor principiilor de ireversibilitate care apar în fizică, mai ales între cel de-al doilea principiu și acea regulă generală de interdicție prin care fizicianul se străduiește să nu ia în considerație decât acțiunile retardate (cele în care efectul succede cauzei), excluzând acțiunile avansate, echivalente din punct de vedere matematic. Această regulă este aplicată în special în teoria electromagnetismului, unde soluțiile în care intervin potențiale avansate sînt eliminate. Mai mult, după Costa de Beauregard, dacă în fenomenele de radiație se iau în considerație condițiile cuantice, atunci relația dintre ireversibilitatea termodinamică și ireversibilitatea cauzală devine evidentă. După cîte știm, argumentația sa nu a fost contestată².

Aici încep adevăratele divergențe. Simplificînd mult, se poate spune că, în discuțiile lor în legătură cu aporia ireversibilității, autorii contemporani se simt solicitați în două direcții diferite, între care sau aleg, sau refuză să aleagă, după caz.

¹ *Discussion de la Communication de T. Gold au XI^e Conseil de Physique Solvay, in La Structure et l'évolution...*, p. 92.

² Amintim totuși că au existat cîteva rezerve din partea lui Rosenfeld: *Colloque de Philosophie de la Physique*, Paris, 1961; discuție între L. Brillouin și L. Rosenfeld, *Rev. Mét. et de Morale*, 2, 1962, p. 247.

Pe de o parte, originea și eventual soluția enigmei poate fi căutată în condițiile inserării gândirii cognitive și active a omului în Universul fizic. Enigma ar fi deci, în principiul său, *epistemologică*. Aceasta este calea pe care se angajează hotărît Rosenfeld, în deplin acord cu adeziunea sa la tezele școlii de la Copenhaga. În pasajul pe care l-am citat, se poate citi : „Pentru a da o semnificație definiției sensului timpului, se pare că ar fi necesar să ne reîntoarcem la procesul observației, luat sub aspectul său cel mai primitiv : pentru a fi în măsură să enunțăm ceva, în legătură cu un obiect oarecare — nu numai în legătură cu sistemele complexe, ci și cu sistemele atomice individuale — trebuie să primim un semnal oarecare de la acest obiect, iar transmiterea unui astfel de semnal (de exemplu un foton) de la obiect la observator definește sensul timpului...”

Tot spre o concepție epistemologică se orientează și Costa de Beauregard, cel puțin atunci când încearcă să pună în evidență analogia dintre principiile fizice de ireversibilitate și principiul lui Bayes din teoria clasică a probabilităților, în virtutea căruia folosirea calculului probabilităților în „retrodicție”, — în cercetarea cauzelor — presupune folosirea unor ipoteze speciale, care nu sînt necesare în „predicție”. De asemenea, atunci când același autor, într-un mod mai puțin convingător, dar pitoresc, evocă posibilitatea unei „lecturi cursive” a spațiu-timp-ului, prin care, eliberindu-se parțial și momentan de regulile obișnuite ale cunoașterii, gîndirea ar putea să zboare peste timp, să facă un salt în viitor, ca un cititor grăbit sau neglijent care citește la întîmplare cîteva pagini dintr-o carte, ici și colo.

Dar dacă teoreticienii contemporani ai ireversibilității sînt solicitați de o concepție *epistemologică*, ei sînt solicitați în aceeași măsură și de o concepție *cosmologică*. Incapacitatea finală a raționamentelor statistice de a justifica săgeata timpului ar rezulta atunci din abstractizarea pe care ele se bazează. Într-adevăr, numai prin abstractizare se poate vorbi de un sistem izolat, sau chiar pur și simplu determinat. Dacă orice sistem este privit în contextul schimburilor sale cu totalitatea cosmică, cu Universul în sensul concret de ansamblu al existențelor fizice, atunci ireversibilitatea rezultă din faptul că Universul, în acest sens, scapă operației de abstractizare și nu poate fi considerat cu adevărat ca un „sistem”.

Această referire finală la totalitatea cosmică, înțeleasă în sens concret, se află la orizontul oricărei meditații „obiective” sau realiste asupra devenirii. Ea formează în același timp baza argumentelor prin care se contestă posibilitatea unei reduceri

epistemologice a ireversibilității. Căci o astfel de reducere, fie că situează ireversibilitatea în schema stimul-răspuns, fie că se referă la norme, anticipări sau reguli de selecție care permit ca lumea să fie gândită sau să se acționeze asupra ei, postulează întotdeauna o anumită autenticitate ontologică a modelelor abstracte pe care gândirea le decupează din real pentru a se servi apoi de ele ca de o rețea. Dar dacă devenirea este într-adevăr cosmică, este puțin probabil ca aceste procedee să permită cuprinderea existenței fizice în toată bogăția sa. Un argument de acest fel se afirmă cu claritate în critica pe care o face Whitrow unui eseu al lui Penrose și Percival. Acești autori construiesc o teorie a asimetriei temporale bazată pe o definiție propusă de Costa de Beauregard : dacă un sistem izolat reacționează la timpul t_0 cu mediul care îl înconjură sau cu un alt sistem, efectul interacțiunii va fi simțit *după* t_0 , nu *înainte*, aceasta reprezentînd, natural, o *definiție* a noțiunilor de înainte și după. Whitrow aduce obiecția că existența unei direcții a timpului depinde în cazul acesta de un postulat cosmologic : există regiuni spațio-temporale separate în întregime. Metoda este însă inaplicabilă dacă în Univers nu există evenimente cu adevărat independente — căci atunci nu se poate defini momentul în care *începe* interacțiunea — și nu avem motive pentru a presupune existența unor astfel de evenimente.

Nu se poate contesta deci că problema ireversibilității are prelungiri și rădăcini cosmologice, așa cum o recunosc mai mult sau mai puțin explicit diverși autori. Astfel, de exemplu, este Reichenbach, care înlătură deliberat orice abordare „subiectivă” a problemei. La fel Costa de Beauregard, la care interdicțiile epistemologice par să aibă pînă la urmă o origine cosmologică.

Totuși legăturile dintre cercetările privind ireversibilitatea fizică, pe de o parte, și cosmologia structurală și cosmogonie, pe de alta, au rămas pînă în prezent destul de imperfecte. Spre exemplu, nu putem decît să-l aprobăm pe Costa de Beauregard atunci cînd presupune, ca și Gold, că „faptul că legea cosmologică a înroșirii fotonilor de origine îndepărtată are tocmai semnul care o face să fie în acord cu legea disipării energiei, nu este probabil întîmplător”¹.

Dar în loc ca din această remarcă să tragă consecința care părea să se impună — anume că semnificația cosmologică a ireversibilității nu va putea fi cu adevărat clarificată decît atunci cînd

¹ *Symétrie microscopique et dissymétrie macroscopique entre avenir et passé*, Revue de synthèse, 1957, p. 21. În legătură cu această potrivire a celor două definiții ale sensului timpului, vezi mai jos, p. 301.

fenomenologia evoluției cosmice va putea fi înțeleasă mai profund, în relațiile sale cu teoriile fizice diferențiale și cu experiența locală (dacă acest lucru este posibil), Costa de Beauregard deduce propoziții a căror generalitate este atât de mare încât riscă să-și piardă orice semnificație precisă și să dea naștere la neînțelegeri. Astfel, atunci când spune, spre exemplu, că expresia matematică a devenirii universale trebuie să fie „...o condiție la limită pentru ecuația de undă a sistemului universal”¹, nu se poate stabili nici un raport direct între programul definit în felul acesta pentru cosmologie și practica efectivă a acestei științe, care nu știe care ar putea fi ecuația de undă a sistemului universal și care întâmpină dificultăți în fixarea condițiilor la limită pentru singura ecuație cosmică pe care o cunoaște, ecuația lui Friedman, dealtfel perfect reversibilă în raport cu timpul...

Cît despre Reichenbach, acesta a realizat, în cartea sa postumă despre timp², paradoxul de a propune o soluție cosmologică precisă a problemei ireversibilității fizice, fără a face măcar o singură aluzie nu numai la teoriile cosmologice contemporane, dar nici chiar la deplasarea spre roșu a nebuloaselor...

Această surprinzătoare lacună într-o lucrare care conține, pe de altă parte, atâtea idei ingenioase și profunde, va contribui la înțelegerea intenției cu care au fost scrise paginile care vor urma : aceea de a confrunta datele problemei ireversibilității cu cîteva din rezultatele cele mai frapante ale cosmologiei empirice și teoretice a acestui secol.

B. Patru întrebări asupra devenirii cosmice

Pentru claritatea expunerii, vom presupune că se admite ipoteza timpului cosmic³ și vom pune astronomiei patru întrebări asupra devenirii Universului, întrebîndu-ne, în același timp, dacă ea ne poate răspunde de fapt și de drept.

I. Se află Universul într-o evoluție globală, sau nu ?

II. Presupunînd că răspunsul la această primă întrebare este afirmativ, definesc oare diferitele procese care se desfășoară în prezent, într-un mod lipsit de echivoc, un sens al evoluției cosmice ?

¹ Ibid.

² *The Direction of Time*, publicată de Maria Reichenbach, Berkeley, 1956.

³ Înțelegem prin aceasta, natural, ipoteza pur geometrică pe care cosmologia structurală o desemnează în mod obișnuit sub acest nume.

III. Dacă cea de-a doua întrebare comportă un răspuns afirmativ, adică dacă există un viitor și un trecut nu numai din punctul de vedere al fiecărui om și al Omului, ci și relativ la ansamblul realității fizice, atunci permite oare inducția, care merge de la prezent spre viitor, să se definească o stare finală a Cosmosului, un sfârșit al timpurilor care ar înlătura distincția dintre viitorul și trecutul cosmic? sau trebuie oare conceput un viitor infinit, în care distincția dintre viitor și trecut să-și păstreze întotdeauna sensul?

IV. În aceleași condiții care dau un sens celei de-a treia întrebări, se poate oare conduce inducția spre trecut pînă la o „stare inițială” a evoluției cosmice, și ce semnificație ar trebui să i se atribuie acestui concept de „stare inițială”?

I. Prima întrebare este evident de natură fizică. Dificultatea constă în a decide dacă transformările locale care se pot observa dovedesc o stare cosmică de dezechilibru sau dacă efectele lor se anulează reciproc la o scară suficient de mare. Într-adevăr, noțiunea de echilibru, așa cum o folosește de obicei fizica, implică nu absența transformării, ci persistența globală indefinită, în interiorul unui sistem dat, a anumitor valori medii ale variabilelor, datorită compensării statistice a fenomenelor elementare care se desfășoară într-un anumit sens de către cele care se desfășoară în sens contrar. De exemplu, echilibrul unei coloane de gaz închis într-un cilindru avînd axa orientată vertical nu înseamnă că moleculele sînt imobile, ci că mișcările ascendente care se produc sînt încontinuu compensate de mișcările descendente, astfel încît proporția de molecule care se găsesc la diferite altitudini este în medie constantă și în conformitate cu legea barometrică. Atunci cînd se vorbește de echilibrul chimic al unui amestec de două substanțe susceptibile de a forma un compus, se poate înțelege fie că ele rămîn indefinit una în prezența celeilalte fără a se combina, în lipsa unor condiții favorabile (cum este cazul oxigenului și azotului din aer), fie că se produc fără încetare combinații și disocieri, în așa fel încît se menține în mod constant o proporție definită între compus și părțile componente.

S-ar putea deci ca transformările cosmice la care asistăm și pe care sîntem tentați să le considerăm ca semnul unei stări nestabile a Universului să fie compensate, poate, la o scară mai mare, de transformări în sens contrar, care ar scăpa încă observației noastre. Această ipoteză nu poate fi respinsă categoric — ca dealtfel nici o ipoteză care se sprijină pe necunoscut — dar nu este deloc încurajată de cunoștințele dobîndite pînă acum.

Nu există nici o îndoială că lumea fizică este, în vecinătatea noastră imediată, nestaționară. Astfel, orologiul cosmic prin excelență care este rotația diurnă a Pământului, se încetinește și din această cauză ziua siderală nu satisface în mod riguros condițiile cerute pentru o unitate de timp. Fenomenele cu aparență ciclică sau evasiciclică pe care le observăm sau le putem deduce la suprafața Pământului, succesiunea anotimpurilor, evaporarea și condensarea apei, ciclurile legate de viață, chiar și înălțarea și eroziunea munților, nu-și datorează în general caracterul staționar decât stabilității Soarelui, constanței masei sale și a debitului său de energie radiantă. Dar, din punctul de vedere al Soarelui, această constanță se sprijină tocmai pe o stare de dezechilibru, pe existența unei suite ireversibile de transformări, extrem de lentă la scara fenomenelor terestre : Jeans calculează că Soarele răspîndește în spațiu, sub formă de radiație, trei sute șazeci de miliarde de tone pe zi¹. Masa sa este însă atît de mare, încît acest debit poate să urmeze într-un regim permanent timp de miliarde de ani, așa încît să întrețină, mult dincolo de scara umană, ciclul ploii și pe cel al timpului frumos.

Radiația Soarelui își are originea — și aceasta este o certitudine cîștigată de douăzeci și cinci de ani — în reacțiile termonucleare care sînt însoțite de o pierdere de masă local ireversibilă. Or, dacă luată în sine ca fenomen individual, evoluția Soarelui este extrem de localizată, ea reprezintă în același timp un eșantion oarecare al unui tip de transformare reprodusă în Univers în miliarde de exemplare. Într-adevăr, nu există nici o îndoială că Soarele este o stea de un tip extrem de răspîndit, nu numai în Galaxie, ci și în toate galaxiile cunoscute : liniile de absorbție H și K din spectrul solar sînt vizibile în spectrele stelelor cele mai îndepărtate, indicînd viteza lor de recesiune. Desigur, nu toate stelele sînt asemănătoare Soarelui, iar materia cosmică nu este decât parțial condensată în stele. Chiar dacă, însă, radiația altor tipuri de stele are ca sursă alte reacții nucleare, nu există totuși nici o îndoială că energia astrului nu întrece masa sa. Prin urmare, transformarea materiei (de fapt, a substanței — *N.T.*) în radiație apare ca un proces extrem de general și de o amploare extraordinară în întreg Universul explorat. Se va spune poate că nici nu s-ar putea altfel : pentru a putea observa obiectele cosmice, trebuie ca ele să radieze și ca radiația emisă să depășească radiația absorbită pe parcurs, deci că observația presupune cu necesitate un proces de răspîndire ireversibilă a energiei. Această remarcă trebuie reținută desigur

¹ J. JEANS, *L'Univers*, trad. Cros, Payot, Paris, 1930, p. 264.

ca o indicație în favoarea tezei după care ireversibilitatea fizică este legată de relația dintre obiect și observator; ea nu este incompatibilă cu afirmația că lumea, așa cum ne este dată, nu este într-o stare staționară.

În orice caz, pentru ca procesul gigantic de dematerializare a stelelor să fie compatibil la o scară oarecare cu o stare de echilibru, ar trebui ca el să fie compensat la aceeași scară printr-un proces invers de condensare a radiației în masă. Nu există însă nici o indicație că această condensare ar putea avea loc într-o măsură suficientă, în vreo regiune oarecare a Universului. Într-adevăr, nu se cunoaște nici un loc în care să fie întrunite condițiile fizice excepționale necesare pentru ca materializarea radiației să se efectueze în proporții neînfinitesimale. Printre altele, pentru aceasta ar fi necesare temperaturi enorme ¹.

Desigur, se pot face presupuneri — și s-au făcut, dar nici observația, nici calculul nu le sînt prea favorabile. Situîndu-se pe o poziție pur „fenomenologică”, adică fără a face vreo ipoteză asupra proceselor care realizează efectiv transformarea, Tolman aplică ecuația lui Einstein cu privire la echivalența masei și energiei și legile generale ale termodinamicii la problema echilibrului dintre materie și radiație (energie constantă, entropie constantă) ². El găsește că exceptînd cazul temperaturilor extrem de ridicate, concentrația masei la echilibru ar trebui să fie extrem de mică, mult mai mică decît concentrația observată efectiv. Chiar la temperatura fantastică de un miliard de grade ³, concentrația masei la echilibru nu ar fi decît de $6,06 \cdot 10^{-4663}$ molecule/cm³. Deci, la orice temperatură de ordinul celor atinse în mod sigur în Univers, echilibrul ar implica faptul că materia nu mai există și că radiația este singura formă de existență fizică.

Or, una din trăsăturile remarcabile ale Universului cunoscut este tocmai raritatea energiei radiante în raport cu energia condensată în masă (este tocmai ceea ce face ca pentru om să fie atît de prețioasă tehnica nucleară, care îi permite să scoată puțin din imensul rezervor de energie condensată în materie). Va trebui să revenim asupra calculului lui Tolman, a cărui exactitudine nu este contestată, dar căruia, așa cum spune chiar Tolman, nu tre-

¹ După Jeans, generarea unui singur proton pornind de la radiație necesită o cantitate de energie de 0,0015 ergi, ceea ce corespunde unei temperaturi mai mari de o sută de miliarde de grade.

² *Relativity, Thermodynamics...*, op. cit., p. 149.

³ Temperatura din interiorul Soarelui este estimată la 20 de milioane de grade. Temperaturi de ordinul miliardelor de grade nu se pot manifesta probabil decît în anumite faze excepționale ale existenței unor stele.

buie să i se exagereze importanța, avînd în vedere generalitatea ipotezelor pe care se sprijină. Dar se poate spune cel puțin că el încurajează mult ipoteza după care, global ca și local, Universul se găsește într-o stare de dezechilibru.

Sînt încă multe alte indicii care susțin această ipoteză. Se va vedea mai tîrziu că confruntarea condițiilor de echilibru cu privire la transmutațiile nucleare cu abundențele cunoscute ale diferitelor specii atomice nu este deloc satisfăcătoare. Pentru a ne mărgini la un caz particular, tratat de Tolman din același punct de vedere „fenomenologic” ca și problema precedentă — cazul proporțiilor relative, la echilibru în Universul real, dintre hidrogen și heliu — calculul arată că în Univers există un exces foarte mare de hidrogen în raport cu condițiile de echilibru, ceea ce implică faptul că cvasitotalitatea hidrogenului trebuie să fie transformată în heliu¹.

În sfîrșit, observarea deplasării spre roșu a radiației nebuloaselor, interpretarea acestui efect în cosmologia relativistă, contribuie, fără îndoială decisiv, la înlăturarea ideii de echilibru din reprezentarea Universului. Simpla încercare de a da o soluție generală problemei cosmologice în cadrul teoriei relativității l-a condus pe Friedman la noțiunea unui Univers cu structură metrică variabilă în timp, iar decalajul spectral al galaxiilor s-a impus ca un fapt universal. Acordul dintre fapte și teorie este atît de perfect în acest caz, încît nu rămîne nici o posibilitate de a se evita concluzia dezechilibrului cosmic. Admitem legitimitatea unei cosmologii structurale bazată pe teoria relativității generalizate? În acest caz nu avem nici un motiv serios să alegem, ca reprezentare a Universului, singurul model cu adevărat static acceptat de această teorie și al cărui echilibru nu poate fi decît instabil. Vrem să păstrăm imaginea clasică a Universului, euclidian și newtonian, cu toate dificultățile pe care le comportă?² În acest caz trebuie să explicăm deplasarea spre roșu a galaxiilor; presupunînd că o astfel de explicație ar fi posibilă, ceea ce este foarte îndoielnic, ea nu va putea schimba cu nimic faptul că acest fenomen este mărturia unui *proces* de uzură a energiei, pentru care nu se poate observa și nici concepe vreo compensare.

Oricît de simplă ar fi toată această argumentație, concluzia care rezultă, și anume că Universul, în momentul în care îl observăm, nu este în echilibru, ci într-o stare de tranziție, că timpul

¹ *Relativity, Thermodynamics...*, op. cit., p. 140.

² A m văzut că o cosmologie de acest fel rămîne posibilă din punct de vedere logic cu condiția de a admite... expansiunea. Vezi Anexa, VIII.

cosmic trece, este refuzată cu încăpăținare și din principiu de anumite spirite. Se caută atunci, și se găsesc, contraargumente, dar caracterul lor artificial și deseori disparat este destul de frapant.

Iată câteva exemple : chiar admitînd expansiunea, adică interpretarea cinematică, structurală sau nu, a decalajului spectral, putem să nu vedem în aceasta decît un fenomen local și trecător. De treizeci de ani se așteaptă cel mai mic indiciu în acest sens, dar nu se poate aprecia dinainte ce va descoperi astronomia de mîine. Astfel, Dauvillier, după ce remarcase pe bună dreptate că o ipoteză cosmogonică plauzibilă „nu trebuie să prezinte nici un caracter metafizic”, propune ca Universul să fie considerat „...ca format dintr-un gaz poliatomic de metagalaxii, ale cărui molecule ar fi roiurile”. În acest gaz se vor produce fluctuații de densitate : „regiunile cu densitate joasă vor suferi o expansiune în timp ce cele în care densitatea medie depășește densitatea critică vor fi în contracție. În medie, Universul va fi în echilibru, expansiunile și contracțiile rămînînd locale”. Pe cînd noi, gîndește Dauvillier, „făcînd o extrapolare arbitrară, vrem să extindem la întregul Univers o expansiune pe care o constatăm în singurul domeniu infim care ne este accesibil”¹. Ne întrebăm totuși care extrapolare este mai arbitrară : cea care concepe întregul prin analogie cu partea cunoscută (presupunînd uniformitatea pe care orice știință o postulează pînă la un anumit punct), sau aceea care, fără cea mai mică urmă de dovadă, introduce o ipoteză ad-hoc pentru a satisface un principiu impus aprioric.

Același autor, pentru care echilibrul este un fel de dogmă, caută în electromagnetismul galactic „mecanismul” care s-ar opune degradării energiei. Radiațiile cosmice, accelerate de cîmpurile magnetice ale Galaxiei, ar frîna această degenerare. Absorbția lor ar da naștere la procese de materializare a energiei și, în același timp, ar juca un rol esențial în „ciclul atomic”, regenerînd hidrogenul plecînd de la nuclee grele. Dar aceste sugestii nu sînt însoțite de o încercare de evaluare cantitativă susceptibilă de a demonstra că „mecanismul” poate produce efecte rezonabile în comparație cu consumul enorm de masă și de hidrogen care are loc în stele. De asemenea, atunci cînd acest autor afirmă că în Univers „materializările și dematerializările sînt în echilibru statistic datorită jocului combinat al temperaturilor înalte și al electromagnetismului” el nu face decît să exprime o credință care îl face dealtfel să apeleze la fenomene fundamentale, dar necunoscute

¹ A. DAUVILLIER, *Cosmologie et Chimie*, P.U.F., Paris, 1955, p. 199.

„... a căror cunoaștere va elucidă fără îndoială mecanismul echilibrului”¹.

Aceeași prejudecată de a concepe Universul exclusiv în forma echilibrului se regăsește la F. Zwicky². Dar motivele invocate de acesta nu sînt aceleași, fără a da totuși impresia că ar fi mult mai solid fundamentate. Zwicky poate să pună în valoare un anumit număr de fapte de observație în favoarea ipotezei echilibrului. El găsește de exemplu în concentrația maselor în Univers o regularitate în conformitate cu prevederile acestui postulat. Pentru el, ca și pentru Lemaitre, repartizarea galaxiilor în roiuri ar dovedi că aceste roiuri sînt în echilibru dinamic și această opinie a fost confirmată de Oort cel puțin pentru regiunile centrale ale anumitor roiuri mari. Dar alți autori, în special Ambartsumian, contestă că această afirmație ar putea fi valabilă în general pentru toate roiurile.

Zwicky se opune raționamentului lui Stern — care este analog cu cercetările lui Tolman despre care am vorbit — asupra absenței unui echilibru termodinamic între materie și radiație, considerînd pe bună dreptate că izolarea echilibrelor particulare: radiație ↔ materie și hidrogen ↔ heliu este artificială, și că ar trebui luată în considerație totalitatea lanțului:

Radiație ↔ protoni-electroni ↔ nuclee grele ↔ pulberi de toate dimensiunile ↔ nebuloase gazoase ↔ stele ↔ roiuri de stele.

Aplicînd formula generală a echilibrului în reacțiile chimice pentru transformarea:

$$n \text{ atomi} \leftrightarrow o \text{ stea}$$

(unde $n = 2,1 \times 10^{55}$, valoarea empirică pentru Soare), Zwicky găsește, în conformitate cu observația, o concentrație slabă a atomilor liberi față de atomii stelari. Și, examinînd dubla transformare: $n \text{ atomi} \leftrightarrow n_2 \text{ particule de pulbere} \leftrightarrow o \text{ stea}$, el arată că cea de-a doua reacție reduce enorm concentrația pulberii care, după prima reacție, ar fi destul de mare pentru temperaturi sub o mie °K.

Totuși, nu ni se pare că acestea sînt suficiente pentru a respinge argumentul lui Tolman. Pentru aceasta, ar trebui arătat, ceea ce Zwicky nu face, că transformările lanțului — cel puțin unele dintre ele — pot absorbi o parte apreciabilă din enormul exces de radiație prevăzut de calculul lui Tolman.

¹ A. DAUVILLIER, *Cosmologie et Chimie*, op. cit., pp. 211—221.

² F. ZWICKY, *L'Astronomie et la marche dans l'Univers*, *L'Astronomie*, 76, 1962, pp. 55—65.

O altă obiecție adusă de Zwicky este că în calculul lui Stern și în cel al lui Tolman energia radiației este considerată ca energie potențială negativă, contrar tratării obișnuite care, asimilând energia radiației energiei cinetice, o identifică cu o energie potențială pozitivă.

Toate aceste remarci își au desigur valoarea lor, dar, față de datele de observație categorice — decalajul spectral al galaxiilor, excesul de materie, excesul de hidrogen, dispersia evasiuniversală a radiației — ele nu par să atîrne prea greu. Pe de altă parte, cum se face că partizanii Universului în echilibru invocă argumente atît de disparate, a căror subtilitate contrastează dealtfel cu simplitatea faptelor pe care se sprijină presupunerea dezechilibrului? Totuși, aceste fapte nu-și capătă înțelesul deplin decît în cadrul examinării celei de-a doua întrebări pe care am pus-o și pe care o repetăm :

II. Este sensul evoluției cosmice fixat fără echivoc? Comparînd marile procese cosmice care atestă realitatea unei deveniri observate sau deduse, se poate afirma, fără putință de tăgadă, că ele decurg „în același sens”?

Trebuie să notăm mai întîi că această întrebare nu este, evident, de aceeași natură cu precedentă. Este ea, ca și prima, o întrebare fizică, care ia naștere din observarea proprietăților empirice ale Universului? Sau este, dimpotrivă, de natură logică și pentru a i se răspunde afirmativ este suficientă examinarea atentă a înseși datelor problemei ireversibilității? Cel de-al doilea răspuns ar fi tentant, deoarece cosmologia structurală se lipsește cu greu, așa cum am văzut, de ipoteza timpului cosmic. Noi nu putem gândi timpul decît ca pe o dimensiune orientată în mod natural și de aici pare să rezulte imediat că un timp unic nu poate avea decît o orientare unică. Or, orientarea timpului nu poate fi decît cea a evenimentelor care se produc în timp, de unde pare să rezulte că orientarea evenimentelor nu poate fi decît unică. Dintr-o astfel de argumentație, Gold obține, așa cum se va vedea, o soluție radicală și extrem de simplă a problemei ireversibilității.

Dar aici ar trebui poate să fim categoric anticartezieni și să ne îndoim cu atît mai mult de evidente cu cît ele sînt mai simple, și să ne amintim de asemenea de ciudatul cosmonaut al lui Gödel care revine în propriul său trecut fără a schimba vreodată sensul timpului. În sfîrșit, atitudinea noastră în această problemă va fi de a face ca empiricul să treacă înaintea dialecticului. Adică ceea ce ne spune, în privința sensului unic al proceselor cosmice,

observația directă a Universului și experiența locală condensată în legile termodinamicii, sau, în esență,

a) că cel de-al doilea principiu al termodinamicii definește în mod univoc sensul privilegiat al tuturor proceselor care au loc în sisteme în care pot fi definite variabilele termodinamice, în special entropia și energia;

b) că decalajul spectral al galaxiilor definește direct un sens al evoluției cosmice;

c) că în măsura în care acest efect de recesiune este comparabil cu procese locale interpretabile din punct de vedere termodinamic (în special cu efectul Doppler obișnuit), identificarea celor două săgeți se poate face fără a da naștere la dificultăți sau paradoxuri.

În favoarea punctului *a* se poate menționa în primul rând autoritatea excepțională pe care i-o conferă celui de-al doilea principiu al termodinamicii un secol de nenumărate servicii experimentale și teoretice, aptitudinea sa de a suporta generalizările cele mai largi, rezistența sa remarcabilă la toate corecțiile aduse în acest secol axiomelor fizicii teoretice. După câte știm, racordarea transformărilor locale cu transformările mai extinse nu a întâmpinat niciodată dificultăți în această privință. Acesta este un lucru cu atât mai demn de remarcat dacă ne gândim cât de restrînsă era baza experimentală pe care s-a început, odată cu Carnot, edificarea celui de-al doilea principiu. Conceptul de entropie a suportat generalizarea la fel de bine ca și cel de energie și este imposibil să se dea prioritate unuia dintre cele două principii ale energeticii în ceea ce privește aptitudinea lor de a interpreta faptele experimentale cele mai diverse. Acest succes este suficient pentru a dovedi că toate transformările locale cunoscute ale materiei-energiei pot fi raportate la o orientare fundamentală. Oricum ar evolua un sistem particular, există întotdeauna un sistem care îl înglobează și a cărui evoluție se petrece urmînd sensul termodinamic.

Punctul *b* este aproape evident, dacă renunțăm să considerăm din principiu, împotriva tuturor aparențelor observate pînă acum, că deplasarea spre roșu nu este decît un fenomen local. Așa cum o indică pe scurt numele său englezesc (*red-shift*), acest fenomen este orientat — liniile spectrale se deplasează spre roșu. Ele „ar putea” să se deplaseze (sensul acestui condițional rămîne de precizat de altfel) spre albastru. Aceasta dă aparența unei expansiuni a spațiului. „S-ar putea” observa aparențele unei contracții.

Ajungem în felul acesta la punctul *c*: există un sens al expansiunii; există un sens termodinamic; este „același”? Există

vreun mijloc de a face să corespundă în mod concret sensul decalajului spectral cu cel al unui sistem care evoluează în sens termodinamic? Fără îndoială, referindu-ne la ansamblul relațiilor dintre energie, entropie și frecvența radiației corpului negru, energia radiației corpului negru, închisă într-un volum dat, este proporțională cu puterea a patra a temperaturii, iar entropia sa cu puterea a treia. Raportul energie-entropie este proporțional cu temperatura. Pentru o valoare dată a energiei, entropia este deci o funcție descrescătoare de temperatură. Descreșterea temperaturii, deci creșterea entropiei, este însă însoțită de un decalaj spre roșu al ansamblului spectralui. Există astfel o corespondență directă între sensul temporal indicat de creșterea entropiei — sensul termodinamic — și decalajul spectral observat al galaxiilor.

Această coincidență este deosebit de frapantă. Degradarea energetică care însoțește fenomenele terestre este cunoscută calitativ de multă vreme. Deplasarea spre roșu este un fenomen descoperit recent, care nu se evidențiază decît la o scară gigantică. Este vorba de o coincidență, sau de o adevărată identitate? Creatorii teoriei stării staționare înclină spre acest al doilea răspuns în reflecțiile lor asupra paradoxului lui Olbers. Acest răspuns este expus și justificat aprioric, fără nici un fel de aparat formal, într-o comunicare a lui Gold susținută la cel de-al XI-lea Congres de fizică Solvay, comunicare asupra căreia ne vom opri acum¹.

Gold pleacă de la constatarea că toate legile fizice fundamentale cunoscute sînt simetrice în raport cu timpul și că ceea ce orientează un sistem fizic oarecare în raport cu timpul este interacțiunea sa cu un sistem mai mare. Într-adevăr, evoluția unui sistem izolat nu poate păstra o orientare definită decît în decursul unui anumit interval finit — care poate fi foarte mare — după momentul în care a încetat orice influență a lumii exterioare asupra lui. Pentru Gold, exemplul cel mai tipic al unei astfel de interacții cu lumea exterioară este procesul prin care un sistem oarecare răspîndește radiație în spațiu din momentul în care încetează să mai fie complet închis. Pentru ca „săgeata timpului” să se înscrie în Univers, trebuie deci ca Universul să poată absorbi orice radiație care scapă din oricare din sistemele pe care le conține. După teoria stării staționare, tocmai expansiunea este cea care asigură această absorbție universală, în așa fel încît, pentru Gold, există o corespondență directă între dispersarea

¹ T. GOLD, *The Arrow of Time*, in *La Structure et l'Évolution...*, op. cit., pp. 81—91.

radiației, observată la orice scară, și expansiunea galaxiilor, care este un fenomen cosmic :

„O înțelegere a Universului mai profundă decât cea de care dispunem acum ar putea să ne permită să deducem expansiunea acestuia numai din observarea unor efecte la scară mică”¹.

În aceste condiții este exclus să poată exista două *sensuri* de evoluție posibile pentru Univers — expansiunea și contracția — și ca natura să fi ales unul dintre ele. Într-adevăr, numai expansiunea indică sensul timpului. Pentru ca să se poată concepe o mișcare de contracție care s-ar produce parcurgând timpul în „același” sens, ar trebui ca acest sens să fie definit prin alte caracteristici ale Universului sau prin alte legi fizice, independent de expansiune. Or, așa ceva nu se cunoaște pînă acum. Se poate spune deci că, prin definiție, expansiunea are loc în sensul trecut-viitor și contracția în sensul viitor-trecut, și că legile fizice simetrice nu pot descrie un Univers în curs de contracție, în care sensul pozitiv al timpului ar continua să fie definit local cu ajutorul celui de-al doilea principiu.

Astfel, mergînd puțin mai departe de ceea ce spune în mod explicit Gold, analiza sa pare să conducă la următoarea concluzie : enigma ireversibilității are o rezolvare cosmologică ; săgeata timpului nu este trasată nici de legile elementare, nici de combinarea statistică a elementelor, ci de un fenomen cosmic unic care îmbracă toate procesele parțiale și care este fără îndoială de o cu totul altă natură decât evoluția termodinamică a unui sistem izolat.

Gold recunoaște că argumentația sa se bazează pe perfectă simetrie a legilor, dar consideră că această simetrie este neîndoie-nică pînă în prezent. El se alătură, în particular, părerii lui Wheeler și Feynman că în teoria electromagnetismului soluțiile date de potențialele retardate și cele care corespund potențialelor avansate pot fi considerate perfect echivalente. După acești autori, această echivalență nu are loc totuși într-un Univers în care întreaga radiație este pînă la urmă absorbită. Într-un astfel de caz acționează efectiv numai potențialele retardate : este tocmai ceea ce arată experiența în Universul nostru². După Gold, motivul este că expansiunea asigură absorbția radiației. Dar nimic nu dovedește că într-o zi nu se vor dezvălui niște legi asimetrice. La întrebarea lui Oppenheimer, ce ar rezulta pentru cosmogonie din

¹ T. GOLD, *op. cit.*, p. 87.

² *Classical Electrodynamics In Terms of Direct Inter-Particle Actions*, Rev. Mod. Phys., 21, 3, 1949, p. 425.

neinvarianța în raport cu inversiunea timpului în interacțiunile slabe din fizica atomică, Gold a răspuns că aceasta ar distruge valoarea argumentației sale și că atunci ar trebui admisă posibilitatea a două mișcări de ansamblu pentru Univers, dintre care numai una s-ar realiza în fapt.

În așteptarea unei descoperiri de acest fel, cercetările recente ale lui Hogarth¹ și ale lui Narlikar² par să sprijine teza lui Gold. Pentru Hogarth (care, în această privință, împărtășește o părere cvasiunanimă), faptul că numai cîmpurile retardate trebuie să fie luate în considerație într-o descriere verificabilă experimental a efectelor electromagnetice nu ar rezulta din structura fizico-matematică a acestor efecte. El adaugă la teza perfecte simetrii a legilor fizice un argument suplimentar, amintind un rezultat obținut de Dirac în 1938: într-o teorie covariantă a cîmpului electromagnetic, pentru a obține formula empirică a radiației de amortizare, este necesar să se facă în așa fel încît să intervină în același timp și cîmpurile avansate și cele retardate.

După Hogarth, eliminarea empirică a cîmpurilor avansate din cea mai mare parte a efectelor observabile trebuie deci să rezulte din proprietățile de structură ale spațiu-timp-ului. Ea are un sens cosmologic, de aceea el își conduce astfel discuția încît să poată pune în evidență această relație. Folosind și dezvoltînd teoria absorbantilor a lui Wheeler și Feynman, el o aplică în diferite ipoteze cosmologice, limitîndu-se, datorită caracterului ecuațiilor lui Maxwell, la modele robertsoniene în care spațiul este euclidian. El constată că într-un model static, în particular în spațiu-timp-ul lui Minkowski, nu poate apărea nici un avantaj în favoarea cîmpurilor avansate sau a celor retardate.

Este ceea ce stabiliseră deja Wheeler și Feynman, dar Hogarth consideră că ipotezele cu ajutorul cărora acești autori credeau că pot împăca acest rezultat general cu faptele experimentale sînt inoperante. Această împăcare nu poate fi asigurată decît prin alegerea unui model cosmologic adecvat. Or, anumite modele convin foarte bine, altele într-un mod îndoielnic și altele deloc. După analiza lui Hogarth, structurile care convin cel mai bine sînt cele ale teoriei stării staționare, cu generare continuă de materie. Modelele în care materia-energia se conservă, în spe-

¹ *Cosmological Considerations of the Absorber Theory of Radiation*, Proc. Roy. Soc. London, 267 A, 1962, pp. 365—83.

² *Neutrinos and the Arrow of Time in Cosmology*, Proc. Roy. Soc. London, 270 A, 1962, pp. 552—61.



cial modelul Einstein-de Sitter, dau o simetrie îndoielnică sau prost orientată.

Aceste discuții sînt dificile și rezultatele sînt oarecum surprinzătoare (cum se poate ca o structură spațio-temporală, a cărei realitate nu este atestată decît la scară cosmologică, să aibă o incidență asupra experienței locale?). Dacă valoarea lor s-ar confirma, ele ar aduce un argument puternic tezei care atribuie o origine cosmologică ireversibilității fizice. În așteptare, argumentația lui Gold pare cam abstractă, căci atîta timp cît potrivirea dintre procesul de dispersare a radiației la scară mică și cel al expansiunii cosmice nu este demonstrabilă, ci pur și simplu empirică, este greu de crezut ca dintr-un fapt dat să se poată deduce o imposibilitate logică, așa cum este, pentru Gold, existența unui Univers în contracție. Discuția lui Gold are totuși meritul de a arăta ce proprietăți extraordinare ar avea, presupunînd că ar putea exista, un Univers în contracție în care radiația tuturor corpurilor s-ar acumula în loc să fie absorbită de mișcarea cosmică. Dealtfel, din punctul de vedere în care ne situăm contează destul de puțin dacă contracția este imposibilă sau pur și simplu ireală. Ceea ce pare într-adevăr în afara oricărei îndoieli este că actualmente, în istoria Universului, se definește, din aproape în aproape și fără echivoc, un sens al evoluției cosmice și, în consecință, că orientarea timpului nu este un simplu fenomen local, legat de particularitățile subsistemului în care trăim. Cu alte cuvinte, că între expansiune și ireversibilitatea termodinamică, pe de o parte, și postulatul timpului cosmic, pe de alta, operează un fel de confirmare reciprocă, al cărei sens va trebui să fie precizat.

Exprimînd această concluzie, admitem că ea poate părea hazardată. La nivelul de abstractizare la care intenționat se situează Gold, nu are prea mare importanță modul în care se articulează și se ordonează cele trei sisteme conceptuale: cel al unei teorii fizice locale, cel al legilor celor mai generale ale termodinamicii și cel al Universului în expansiune. Dar dacă, fie chiar cu titlu de verificare, privim puțin mai îndeaproape modul în care se face această joncțiune în cazul universurilor de tip Friedman, observăm că identificarea între „săgeata” termodinamică și cea a expansiunii nu este deloc evidentă. Oricît de dispuși am fi să acceptăm punctul de vedere al lui Gold, nu putem trece sub tăcere observațiile la care conduce, în această privință, ecuația de conservare aplicată unor astfel de modele. Pe de altă parte, dacă ieșim din cadrul robertsonian, ca Gödel și Schücking, rămînînd totuși în cadrul relativității generalizate, lucrurile nu devin mai clare, așa cum am văzut în capitolul precedent.

Ecuția de conservare într-un Univers Friedman are proprietatea remarcabilă de a corespunde celei care descrie, local, expansiunea sau contractia *adiabatică* a unui gaz ¹.

Într-o transformare de acest tip, gazul nu schimbă căldură cu mediul înconjurător, dar acționează asupra lui. Or, fiind vorba de un Univers omogen în expansiune, analogia este destul de surprinzătoare, pentru că fiecare element al fluidului nu este înconjurat decât de alte elemente identice cu el și care participă la aceeași transformare. Dacă Universul este finit, totalitatea volumului cosmic ascultă de aceeași lege și nu mai există nici un mediu înconjurător asupra căruia să „lucreze”.

Acum treizeci de ani Tolman a arătat că, pornind de la această lege ciudată, se pot trage consecințele care nu prea sînt în acord cu ipoteza că sensul expansiunii cosmice este chiar cel al timpului.

Mai întîi, o transformare adiabatică poate fi *izentropică* dacă sînt evitate cauzele interne de creștere a entropiei. Acesta este un lucru imposibil pentru orice sistem localizat, datorită condițiilor de constrîngere exercitate de mediul înconjurător al unui astfel de sistem (de exemplu deplasarea unui piston într-un cilindru sub efectul detentei unui gaz nu poate fi perfect regulată și continuă). Dar se poate concepe un model de univers suficient de simplu pentru ca toate cauzele interne de ireversibilitate să fie eliminate ². În acest caz, expansiunea sau contractia, fiind izentropică, sensul temporal indicat de expansiune (dacă rămîne vreunul) nu va fi cel al termodinamicii.

Dacă, dimpotrivă, se presupune că expansiunea adiabatică nu este izentropică, ci ireversibilă, așa cum este cazul de fapt, datorită transformărilor fizice locale suferite de conținutul material al Universului (reacții chimice și nucleare, radiație etc.), ecuația de conservare implică, în aparență paradoxal, că conținutul energetic al fiecărui element de volum poate crește indefinit, ceea ce deschide posibilitatea unei creșteri indefinite a entropiei într-o succesiune de oscilații ale Universului, cu o amplitudine și o perioadă din ce în ce mai mari. Într-adevăr, din ecuația de conservare într-un Univers Friedman rezultă direct că conținutul energetic al fiecărui element de volum de fluid scade în timpul expansiunii și crește în timpul contractiei. Dar, după Tolman ³, existența unor transformări ireversibile locale trebuie să provoace o anumită întîrziere a presiunii în raport cu condițiile de echilibru. De aici, la fiecare sfîrșit de ciclu, după expansiune și reconstrucție,

¹ Anexa, V, ec. 58.

² *Relativity, Thermodynamics...*, op. cit., § 169, p. 425.

³ *Ibid.*, § 131, p. 329; § 175, p. 441.

apare un câștig net de materie-energie în fiecare element de volum și, în consecință, au loc o succesiune de oscilații din ce în ce mai ample și din ce în ce mai lungi¹ și o creștere indefinită a entropiei. Este însă clar că în cazul acesta, în care contracția urmează expansiunii, sensul timpului nu mai poate fi identificat cu cel al expansiunii.

În schema lui Tolman, reluată de Zanstra², alternanța expansiunilor și contracțiilor nu ar fi decât pseudoperiodică și s-ar suprapune unei evoluții ireversibile a conținutului material. Totuși argumentația nu este decât parțial convingătoare.

Dar există un aspect în privința căruia acești autori se dovedesc demonstrativi: în modelele de tip Friedman, inversarea contracției în expansiune este asociată în mod necesar cu o singularitate a metricii, cu o discontinuitate a funcției $R(t)$, care trebuie în mod necesar să scadă pînă la zero dacă începe contracția. Într-adevăr, din forma particulară a ecuației de conservare din acest model rezultă că contracția nu se poate opri pentru o valoare finită a lui $R(t)$. Dacă masa este constantă, ecuația lui Friedman interzice ca R să se anuleze; dacă o parte a masei se transformă în radiație, presiunea de radiație astfel creată nu este suficientă pentru a opri contracția: ea este compensată de câștigul de masă care rezultă din acțiunea sa asupra „mediului înconjurător”.

Dar ce poate deveni atunci sensul timpului la trecerea prin discontinuitate? Dacă ne imaginăm două puncte separate temporal de singularitatea punctuală S , care separă ciclurile C_1 și C_2 ,

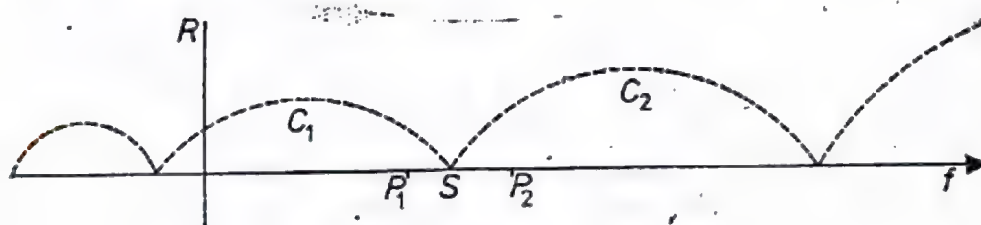


Fig. 1

pe care le notăm cu P_1 și P_2 , care este atunci procesul fizic a cărui continuare subîntinde trecerea de la P_1 la P_2 , dînd astfel o semnificație concretă orientării timpului între P_1 și P_2 ? După Tolman și Zan-

¹ Într-un model Friedman oscilant, atât perioada cît și amplitudinea oscilației sînt proporționale cu cantitatea de masă-energie prezentă în unitatea de volum, sau în întregul Univers dacă acesta este finit. Vezi Anexa, VI, cc. (70, 70').

² H. ZANSTRA, *On the Pulsating or Expanding Universe and Its Thermodynamical Aspects*, Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen, B. 60, 4, 1957, pp. 285—307.

stra, singularitatea geometrică din S trebuie să fie însoțită de o inversare a *tuturor* proceselor fizice și mai ales de o „regenerare” completă a întregii energii nucleare. Zănsra admite că posibilitatea trecerii prin singularitate trebuie să fie postulată explicit, dar el nu spune cum poate fi fixat, în această ipoteză, sensul timpului între P_1 și P_2 .

Geometria modelelor relativiste în rotație sau anizotrope este atât de dificilă încît termodinamica lor pare greu accesibilă. Heckmann s-a mărginit să arate că într-un model în rotație inversarea contracției în expansiune se poate face fără apariția singularității. Dar el nu a explorat semnificația termodinamică a acestei inversări. Este ea compatibilă cu continuarea, în același sens, a proceselor fizice locale? Poate avea întrebarea un răspuns în absența unei tratări relativiste a rotației, pe care Heckmann nu o dă, pentru că modelul său este newtonian? În teoria newtoniană, timpul este dat aprioric independent de devenirea concretă a entităților fizice. Întotdeauna este posibil ca acestui timp vid și absolut să i se atribuie, tot aprioric, un sens dar este aceasta consecință acceptabilă pentru o filozofie relativistă a timpului?

Gödel însă arătase, așa cum am văzut, că rotația absolută este incompatibilă, în teoria relativității, cu orientare unică a timpului, care să nu fie numai locală și diferențială, ci să poată fi definită fără echivoc între două puncte oarecare situate la distanță finită în spațiu-timp. După discuția pe care o face, compatibilitatea între rotație și sensul unic al timpului pare să nu fie asigurată decît în modelele spațial finite și în cazul în care rotația nu este prea mare.

Avînd în vedere că, din motivele pe care le-am amintit deja, expansiunea pare să indice sensul timpului, am putea să ne întrebăm dacă studiul compunerii rotației cu expansiunea nu ar da o semnificație geometrică precisă acestei indicații. Discuția lui Gödel asupra modelelor finite rotitoare în expansiune arată că nu este vorba de așa ceva : într-adevăr, ceea ce are importanță, în aceste modele, din punct de vedere al existenței timpului cosmic orientat, sînt vitezele liniare produse de rotație. Dacă aceste viteze rămîn peste tot mai mici decît c , timpul este corect orientat ; dacă ele pot să depășească această limită, el nu mai este corect orientat. Combinarea expansiunii cu rotația se face însă în așa fel încît limita superioară a vitezelor liniare de rotație nu depinde de expansiune : dată fiind valoarea rotației, ea determină o dată pentru totdeauna existența sau neexistența unei

orientări temporale unice în întregul Univers, expansiunea sau contracția nu schimbă nimic ¹.

Aceste simple observații arată câte legături între geometria spațiu-timp-lui și fizica timpului sînt încă departe de a fi definite clar, chiar pentru teoria relativității, cu tot principiul general pe care aceasta îl are asupra identității esențiale între legile fizice și structura geometrică.

Discuțiile lui Tolman și Zanstra, pe de o parte, și cele ale lui Gödel, pe de alta, aruncă deci o îndoială asupra argumentației lui Gold, în măsura în care arată că teoria relativității generalizate, singura teorie fizică care pentru moment este în măsură să lege concret expansiunea cosmică de legile de evoluție ale fenomenelor locale, nu face să apară în mod evident faptul că sensul termodinamic sau orientarea geometrică a timpului sînt asociate analitic cu expansiunea.

Totuși, ele nu exclud posibilitatea de a considera că unicitatea sensului tuturor proceselor orientate, locale sau cosmice, este un *fapt* probabil ale cărui manifestări empirice sînt vizibile. Ne vom opri aici, considerînd că răspunsul la cea de-a doua întrebare a noastră — ca și la cea dintîi — este destul de bine întemeiat și suspectînd o oarecare tendențiozitate sau o oarecare prejudecată în încercările de a evita consecințele cele mai simple care rezultă din trăsăturile cele mai frapante ale Universului cunoscut. Sarcina de a căuta dovezi revine celor care susțin că Universul este în stare de echilibru. Presupunînd că o vor dovedi, ei ar trebui să explice și dacă orientarea generală a timpului este sau nu o extrapolare nelegitimă pornind de la o situație locală; ar trebui să facă să se înțeleagă eventual originea a ceea ce ar fi în cazul acesta cea mai înrădăcinată și cea mai universală dintre iluziile umane — aceea că timpul trece...

În schimb, un răspuns rezonabil și motivat la cea de-a treia și la cea de-a patra întrebare puse de noi, asupra ipoteticelor „stare finală” și „stare inițială” ale Universului ni se pare mult mai dificil de justificat, ba chiar de formulat. Devenirea este întotdeauna interpretată prea facil ca o tranziție, trecerea între starea inițială și starea finală a unui și aceluiași lucru, care și-ar realiza astfel potențele. Gîndirea științifică modernă este poate mult mai puțin îndepărtată de Aristotel decît se crede, mai puțin îndepărtată de el în această privință, în orice caz, decît de Bergson sau de Whitehead. Văzînd Universul în mișcare, este atît de natural să ni-l imaginăm în drumul dintre începutul și sfîrșitul

¹ *Rotating Universes...*, mem. cit., p. 179.

său, încît fiecare, după preferințele sau credințele sale, sau se grăbește să găsească aici confirmarea anumitor dogme și adevărarea anumitor mituri, sau, dimpotrivă, se teme atît de mult de această concluzie, încît mai curînd încearcă să se convingă că devenirea cosmică nu este decît o aparență. Ar trebui să se poată separa complet conceptul de devenire de cel de tranziție, lucru nu prea ușor pentru gîndirea fizică, chiar pentru cea rațională, și să se înțeleagă că natura poate fi o trecere fără punct de plecare și punct de sosire, un fel de devenire absolută.

Oricum ar fi, discutarea celei de-a treia și celei de-a patra întrebări ne va arăta acum în ce măsură se încurcă faptele și ideile atunci cînd se încearcă raportarea devenirii cosmice la termenii săi ipotetici.

III. Este posibil sau trebuie să se conceapă o stare finală a Universului? Din multe motive, această întrebare suscită mai puțin interes decît întrebarea corespunzătoare asupra stării inițiale. Trebuie totuși să o punem, măcar din atenție pentru o enumerare completă. Dintre toți cosmologii moderni, Jeans este cel care a insistat cel mai mult asupra acestui sfîrșit al Universului, asupra acestei „morți” cosmice. El o concepe ca pe o dematerializare totală.

„Deci Universul se va sfîrși atunci cînd orice atom susceptibil de distrugere va fi fost distrus și cînd energia sa, convertită în energie calorică, va fi fost rîspîndită pentru totdeauna în spațiu, cînd toată materia susceptibilă de a se transforma în radiație va fi suferit această transformare”¹.

Dacă rămînem în cadrul argumentației care se sprijină pe cel de-al doilea principiu al termodinamicii, concluzia pare inevitabilă: Universul este un sistem izolat prin definiție, el nu poate decît să se îndrepte spre acest echilibru și, odată ce îl atinge, să înceteze de a evolua global.

Această concluzie este totuși mult prea abstractă și, dacă o confruntăm cu cunoștințele dobîndite de astronomia modernă asupra transformărilor care decurg efectiv în Univers, vedem că ea rămîne foarte departe de concluziile care se pot trage pornind de la faptele cunoscute. Căci trebuie să ținem cont, pe de o parte, de transformările locale, mai ales de evoluția stelelor, în care este concentrată o parte foarte importantă a materiei-energiei cosmice, și, pe de alta, de evoluția globală, cea a Universului. Or, cele două imagini nu se confundă deloc; ele sînt chiar deosebit de contrastante, pentru că stelele își sfîrșesc cariera —

¹ *L'Univers, op. cit.*, p. 269.

dacă aceasta are un sfârșit — prin condensare, în timp ce Universul ar putea să se disperseze fără sfârșit...

Starea finală a materiei stelare rămâne o problemă profund obscură, iar expansiunea spațiului modifică în suficientă măsură condițiile de aplicare a principiilor termodinamice — în raport cu cele care prevalează în sistemele locale — pentru ca noțiunea de stare finală să nu mai aibă un sens indiscutabil în cazul unui Univers în expansiune.

Referindu-ne mai întâi la evoluția stelară, datele fundamentale ale problemei sînt simple, dar soluționarea sa efectivă este extrem de dificilă. În perioada sa de stabilitate, steaua este un sistem fizic staționar sau cvasistaționar, în care se realizează echilibrul a două forțe principale: gravitația, care tinde să comprime astrul, și presiunea radiației, care tinde să-l disperseze¹. În timp însă ce gravitația este legată de însăși existența masei, din care numai o mică parte este împrăștiată sub formă de radiație, nu același lucru se întîmplă cu cel de-al doilea factor al echilibrului. Presiunea radiației depinde de reacțiile termonucleare la care iau parte atomii care compun steaua. Aceste reacții nu pot însă să continue indefinit; ele trebuie să se stingă progresiv, fără îndoială după multe avataruri și printr-un ansamblu de transmutații extrem de complexe, atunci cînd o anumită proporție din materialele inițiale — în esență hidrogen — a suferit ciclul complet de transmutații posibile. Gravitația fiind din ce în ce mai puțin echilibrată, astrul se prăbușește asupra lui însuși și materia-energia capătă densități enorme, atît de enorme încît ele depășesc limitele în cadrul cărora se aplică cu certitudine legile fizice cunoscute.

Ce se întîmplă atunci? Spre ce tinde evoluția finală a astrului supercondensat? Acest lucru depinde mult de masa sa inițială. În cazul în care aceasta depășește sensibil masa Soarelui, problema este cu adevărat obscură. Pot apărea perioade de instabilitate mai mare sau mai mică, ba chiar adevărate explozii care fac ca steaua să piardă o parte din masa sa (aceasta corespunde fără îndoială extraordinarelor fenomene de novă și supernovă observate de astronomi). Dar, oricum, vine momentul în care, dacă putem spune așa, steaua scapă din mîna fizicianului². Observația dove-

¹ Aici este vorba, natural, de o descriere extrem de simplificată. În echilibrul astrului intervin mulți alți factori.

² În ultimii zece ani s-au elucidat multe din problemele legate de stadiul final al evoluției stelelor cu masă mai mare decît cea a Soarelui. S-a stabilit că dacă masa stelei depășește limita de 1,2 mase solare, apare un nou echilibru la o densitate mult mai mare, steaua fiind o stea neutronică. La valori ale masei de peste 3 mase solare colapsul gravitațional nu mai poate fi oprit și se formează o gaură neagră (*black hole*)-N. T.

dește că starea supercondensată nu este o închipuire: există aștri (spre exemplu companionul lui Sirius, care gravitează în jurul acestei stele strălucitoare și apropiate), a căror masă se poate calcula prin mijloace dinamice și a căror densitate se dovedește a fi enormă, radiația lor fiind slabă și starea lor fizică „avansată”. Dar în cazul acestor „pitice albe”, cum sînt numite, mai poate fi încă conceput un fel de echilibru, în cadrul teoriilor cuantice care prevăd proprietăți noi ale electronilor la densități foarte mari; acest echilibru nu este însă posibil decît pentru mase care nu depășesc o anumită valoare critică evaluată de Schatzman la 1,2 mase solare, Soarele fiind o stea medie¹. Acest fel de echilibru nu este deci posibil în cazul stelelor mari (dintre care unele au o masă de o sută de ori mai mare decît cea a Soarelui) decît dacă ele pierd în cursul evoluției o parte suficient de mare din materia lor, ceea ce nu a fost dovedit încă.

Care este deci soarta stelelor mari? Începînd cu o anumită limită a densității, teoria relativității lasă să se bănuiască efecte stranii, iar fizica nucleară permite să se presupună noi moduri de transformare a materiei-energiei. Într-o masă extrem de condensată cîmpul gravitațional trebuie să introducă modificări uriașe în măsurarea timpului. Un proces de cîteva ore măsurat în timpul local al astrului ar putea dura mii de ani în timpul măsurat de un observator exterior, astfel încît starea finală a astrului pentru acest observator ar fi proiectată la infinit. Pe de altă parte, gravitația, „curbînd” din ce în ce mai mult spațiul local, ar sfîrși prin a închide complet radiația, astrul dispărînd încetul cu încetul din Univers. Acesta este un rezultat cunoscut încă de la Oppenheimer². Este adevărat că el este contestat de Wheeler și colaboratorii săi, care nu exclud posibilitatea ca, în sensul a ceea ce imagina Jeans, întreaga masă să sfîrșească prin a se împrăști sub formă de energie radiantă, prin neutrini³.

Sîntem în orice caz foarte departe de imaginea simplistă a „morții termice”...

În ceea ce privește evoluția globală a Universului, este destul de evident că expansiunea spațiului transformă și problema stării finale. Mai întîi, din punct de vedere geometric, într-un Univers în care spațiul ar fi în expansiune indefinită în raport cu timpul cosmic, nu s-ar putea vorbi de „sfîrșit” în nici un punct

¹ E. SCHATZMAN, *Origine et évolution des mondes*, Albin Michel, Paris, 1957, p. 164.

² R. OPPENHEIMER, A. SNYDER, *Phys. Rev.*, 56, 1939, p. 455.

³ K. HARRISON, M. WAKANO, J. A. WHEELER, *Matter-Energy at High Density*, în *La Structure et l'Évolution...*, op. cit., pp. 139–140.

al timpului : la orice moment s-ar putea discerne sensul evoluției cosmice, s-ar putea prevedea un viitor diferit de prezent. Se va spune că aceste considerații geometrice nu au o pondere prea mare, dar pentru teoria relativității generalizate, tot ceea ce este geometric în Univers este și fizic. Este deci rezonabil să ne putem aștepta ca acestui aspect geometric să-i corespundă anumite particularități termodinamice ale materiei-energiei cosmice aflate în expansiune.

Este tocmai ceea ce, așa cum vom vedea imediat, demonstrează Tolman după o adaptare atentă a enunțurilor de bază ale termodinamicii la conceptele și principiile relativiste. Forma adiabatică a expansiunii cosmice deschide două posibilități. În primul rând, această expansiune poate fi „reversibilă”, în sens termodinamic, și neînsoțită de nici o variație a entropiei, chiar între două stări care nu sînt infinit vecine. În acest caz, cel de-al doilea principiu nu interzice ca expansiunea să se desfășoare indefinit, ceea ce exclude ca Universul să atingă vreo „stare finală”, cel puțin din punct de vedere geometric, și ca distincția dintre viitor și trecut să se șteargă vreodată. În al doilea rând, expansiunea adiabatică poate fi „ireversibilă” în sens termodinamic. În acest caz, după cum rezultă din discuția lui Tolman și Zanstra, încetează să mai fie evident faptul că entropia este mărginită superior și că nu poate crește indefinit în suita indefinită a pseudociclurilor imaginare de Tolman¹. Fără îndoială, această concepție se lovește de obiecția pe care am amintit-o. Pe de altă parte, după o remarcă a lui Robertson, menționată de Zanstra, Tolman demonstrează cel mult posibilitatea unei creșteri indefinite a entropiei, nu și necesitatea sa. Dar trebuie să constatăm în orice caz că concluziile cosmologice simple și aparent inevitabile care par să rezulte din legile termodinamicii, în concepția clasică despre Univers, sînt foarte estompate atunci cînd sînt situate în sistemul de concepte ale cosmologiei relativiste. Acest lucru este la fel de adevărat în cazul cosmologiilor moderne care nu se bazează pe relativitatea generalizată : în modelul de univers al relativității cinematice și cu atît mai mult în cel al teoriei stării staționare, care postulează expansiunea indefinită și generarea continuă de materie-energie, nu există „stare finală”. Astfel, concluzia cea mai moderată a întregii discuții pare să fie aceea a lui Tolman :

„În orice caz, ar fi mai înțelept să nu afirmăm dogmatic că principiile termodinamicii cer în mod necesar un Univers creat

¹ După Zanstra durata totală a suitei pseudociclurilor este mărginită în mod necesar spre trecut, dar nu și spre viitor. Schema lui Tolman ar indica deci o stare inițială a Universului, dar nu și o stare finală.

la distanță finită în trecut și destinat, în viitor, stagnării și morții¹, cu observația că, pentru noi, prima parte a acestei fraze rămâne în discuție.

IV. A pornit evoluția Universului de la o stare inițială, care poate fi definită și datată? Dintre cele patru întrebări pe care le discutăm, aceasta este desigur cea mai obscură și cea mai controversată; ea ne va reține multă vreme.

În ciuda aparentei sale simplități și chiar independent de posibilitatea unui răspuns care ar putea fi justificat empiric, ea ascunde în realitate o asemenea complexitate conceptuală încât nu putem spera să facem mai mult decât să descurcăm puțin firele și să folosim această ocazie pentru a ne întreba în ce măsură era îndreptățit Kant să considere problema ca dialectică și generatoare de antinomie, și dacă Comte avea dreptate să o înlăture pur și simplu ca „metafizică”. De fapt, însuși sensul problemei și răspunsurile posibile ale ei cer o examinare atentă.

Este de la sine înțeles că orice enunț care se referă la un început al evoluției cosmice depinde — într-o măsură mai mare decât oricare altul referitor la această evoluție — de ipoteza geometrică a timpului cosmic: într-un Univers relativist, în același timp „rotitor” și în expansiune, ca cele ale lui Gödel, definirea unei stări inițiale ar fi fără îndoială imposibilă. Acest prim punct fiind precizat, iată metoda pe care ne propunem s-o urmăm:

1. Presupunând mai întâi că se *afirmă* existența în trecut a unei „stări inițiale”, a unui „moment inițial”, chiar a unei „creații” a Universului luat în ansamblul său, ce sens poate avea această afirmație? (Există desigur mai multe sensuri.)

2. Presupunând în continuare că se *neagă* această existență, ce sens are această negație? (Și în acest caz există mai multe sensuri, care nu corespund simetric cu cele ale afirmației.)

1. a. Primul sens al tezei.

Într-un timp infinit, conceput ca asociat în mod necesar cu reprezentarea oricărei existențe fizice, conținutul material al Universului a început să existe la un moment dat.

Aceasta este „teza” primei antinomii a lui Kant. Cităm acest prim sens al ei ca termen de referință. De fapt, teza este destul de străină de spiritul științei moderne, care în această privință îi dă dreptate lui Leibniz împotriva lui Newton și Clark, considerând că timpul nu poate fi separat de relația temporală care situează

¹ K. HARRISON, M. WAKANO, J. A. WHEELER, *op. cit.*, p. 144.

orice eveniment în raport cu un „înainte” și un „după” — așa cum nici spațiul nu poate fi separat de relațiile topologice și metrice dintre entitățile fizice. Cum existența fizică aparține termenilor relației și nu relației în sine, un eveniment inițial în timp ar fi într-un anumit sens lipsit de o bază de susținere, fiind sprijinit la un capăt, dar nu și la celălalt. Cu alte cuvinte, dacă ne menținem la termenii — altfel inadecvați pentru problematica actuală a cosmologiei — ai primei antinomii a lui Kant, știința este, așa cum nota Kant, de partea a ceea ce el numește „empirism”, adică de partea „antitezei”, cel puțin în ceea ce privește timpul.

Era totuși util să menționăm explicit acest prim sens, pentru că aceasta conduce de la sine la câteva remarci simple dar importante asupra reprezentării matematice a timpului fizic. În cursul lungii istorii a fizicii s-a stabilit o legătură strânsă între timp și numerele reale. Într-adevăr, sub forma sa modernă, gândirea fizică este prin excelență analitică — acesta este un loc comun — ea descompune secvențele în prealabil izolate, în evenimente instantanee, așa cum descompune corpurile în mase sau sarcini punctuale sau cvasipunctuale. Matematic, până în prezent cel puțin, singura mulțime de referință folosită de fizică pentru a reprezenta suita de momente a fost corpul numerelor reale, cu structura sa de spațiu vectorial pe el însuși, cu relația sa de ordine totală și cu topologia sa „naturală”. Dacă se postulează unicitatea timpului și separarea cosmică între timp și spațiu, este dificil să se conceapă altceva decât o corespondență biunivocă între mulțimea momentelor cosmice și mulțimea numerelor reale. Or, această „aplicație” sau „proiecție” epistemologică implică ca o consecință evidentă faptul că mulțimea momentelor cosmice nu poate fi proiectată pe o parte compactă, chiar închisă, a numerelor reale. Trebuie să avem în vedere, acest fapt mai ales în discutarea universurilor „ciclice”.

Apare totuși o obiecție care merită să fie examinată. Chiar fără a presupune existența timpului cosmic, considerînd numai suita de evenimente pe care un observator o poate constata sau conchide în imediata sa vecinătate spațială, noțiunea de eveniment instantaneu și cea de moment, proiecția epistemologică a mulțimii momentelor pe mulțimea numerelor reale, nu sînt deloc lucruri evidente, nici pentru „bunul simț”, nici pentru matematica pură, nici pentru „conștiința transcendentă”. G. J. Whitrow aduce în acest sens dovezi numeroase și foarte diverse, în special dovada istorică foarte serioasă că argumentele lui Zenon au continuat să suscite și în secolul al XX-lea interes și controverse din partea

spiritelor celor mai alese și a celor mai autorizate în matematică, chiar *după* ce conceptele de bază ale analizei, ca cel de limită sau de continuitate, au fost complet epurate de toate intuițiile temporale asociate cuvintelor „variabilă”, „a tinde spre” etc.¹.

Evenimentul instantaneu, momentul, nu sînt desigur date empirice. Pentru definirea lor prin abstractizare, pornind de la evenimente percepute, care au toate o anumită grosime în durată, sînt posibile diferite metode. Aplicînd-o pe aceea folosită pentru prima oară în mod sistematic de Walker² după o sugestie a lui Russell, Whitrow arată că mulțimea momentelor definite în acest mod nu au în mod necesar toate proprietățile mulțimii numerelor reale, deși, cu ajutorul unor axiome suplimentare, aceste proprietăți i-ar putea fi conferite³.

Nu putem considera deci că proiecția mulțimii momentelor (în vecinătatea spațială a unui observator dat și, cu atît mai mult, a momentelor cosmice) asupra mulțimii numerelor reale ar fi un fapt impus din punct de vedere ontologic.

Totuși, în ceea ce privește problema noastră, obiecția nu are o semnificație prea mare. Într-adevăr, metoda lui Walker și Whitrow exclude posibilitatea ca mulțimea ordonată a momentelor să poată avea un prim element. Definiția momentului se bazează într-adevăr, după această metodă, pe o împărțire prealabilă a „evenimentelor” în două clase nevide, așa încît fiecare eveniment din cea de-a doua clasă să fie precedat de fiecare eveniment din prima. În acest fel, pentru analiza problemei care ne interesează, proiecția pe mulțimea numerelor reale a mulțimii momentelor cosmice nu riscă să creeze dificultăți artificiale.

Or, dacă această proiecție pare să excludă posibilitatea unui timp compact sau închis, ea nu interzice deloc posibilitatea ca timpul să fie reprezentat de un interval deschis, dar mărginit în trecut. Și aceasta ne conduce la cel de-al doilea sens posibil al tezei unei origini cosmice absolute.

1. b. Cel de-al doilea sens al tezei.

În trecut timpul cosmic este deschis, dar mărginit. Atunci, nu mai există la drept vorbind un moment inițial al istoriei cosmice, ci mai curînd suita evenimentelor converge spre trecut,

¹ G. J. WHITROW, *The Natural Philosophy of Time*, Thomas Nelson, London, 1961, pp. 115–152.

² Metoda se bazează pe principiul că, între două „evenimente” sau „durate”, pot exista două relații, care se exclud reciproc: a) precedare (sau succesiune); b) supra-punere.

³ G. J. WHITROW, *op. cit.*, pp. 157–169.

spre o limită, ireală din punct de vedere fizic, care reprezintă, nu începutul lumii în timp, ci începutul timpului — a cărui descriere scapă prin definiție fizicii, dar de care fizica se poate eventual apropia oricât de mult în considerațiile sale retrospective.

Această interpretare a tezei, care va fi numită „metafizică”, considerind acest cuvânt mai ales ca o etichetă, reține atenția datorită personalității autorilor care au propus-o și, de asemenea, pentru că pare cu totul neașteptată în contextul științific al secolului al XX-lea. Faptul că această teză nu este absurdă reprezintă unul din motivele care întrețin dialectica timpului universal.

O găsim la Lemaitre și Milne, autori înrudiți prin aceeași credință religioasă, dar despărțiți în rest de foarte multe lucruri, până la un asemenea punct încât însuși sensul originii diferă de la unul la celălalt. La Milne, zero-ul absolut al timpului, inaccesibil fizicii, „ascuns” pentru totdeauna omului, are sensul unui eveniment transfizic, este ontologic, este creația în sens biblic. Totuși, deoarece gândirea conducătoare a lui Milne rămâne întotdeauna idealismul, sensul metafizic conferit originii cosmice a fost sensibil deviat. Într-adevăr, dacă, pentru Milne, trecerea timpului este foarte reală, reperarea și măsurarea timpului sînt operații ale monadelor, operații al căror arbitrar nu este total eliminat de condițiile restrictive pe care le impune constituirea monadologiei matematice¹. Sînt posibile mai multe scări ale timpului și, în particular, transformarea logaritmică de la scara t la scara τ împinge originea la infinit... Pe de altă parte, la Milne creația nu poate privi decît conținutul Universului, nu și forma sa temporală... La Lemaitre, dimpotrivă, realismul contrastează de la un capăt la altul cu idealismul milnean, iar originea este cu adevărat origine a timpului, în sensul strict ontologic al cuvîntului. Într-adevăr, pentru Lemaitre, existența materiei-energiei adunate în origine într-un *quantum* unic este prealabilă, într-un sens care dealtfel rămîne enigmatic, existenței multiplicității spațio-temporale care derivă din ea, căci această multiplicitate nu este decît un fenomen statistic, a cărui realitate se estompează atunci cînd numărul elementelor este mic. De unde, aceste expresii curioase ale lui Lemaitre, pe care le reproducem integral :

„Putem concepe că spațiul a început odată cu atomul primitiv și că începutul spațiului a marcat începutul timpului ”².

¹ Vezi mai sus, p. 132.

² *L'Hypothèse de l'atome primitif, op. cit., p. 91.*

Căci fizica începe cu multiplul și nu este posibilă nici o fizică în absoluta simplitate a existenței inițiale. Timpul este însă o existență multiplă :

„Începutul multiplicității înseamnă în realitate începutul sensului însuși al oricărei noțiuni care implică un număr mare de indivizi. Spațiul și timpul sînt noțiuni de acest fel. Începutul multiplicității se situează chiar înainte de începutul spațiului și timpului, care dobîndesc progresiv un sens pe măsură ce multiplicitatea crește. Deoarece spațiul și timpul sînt instrumente indispensabile fizicii, acest început se situează chiar înaintea fizicii. Este fundamentul inaccesibil al spațiu-timp-ului”¹.

Dar dacă multiplicitatea, în cadrul căreia timpul nu este decît unul din aspecte, capătă „progresiv” formă pe măsură ce *quantum*-ul original se degradează, nu este oare nevoie de un alt timp, de un timp prealabil, pentru a repera apariția timpului?...

1. c. Cel de-al treilea sens al tezei.

Suita de evenimente cosmice se proiectează pe mulțimea numerelor reale, dar prezintă o discontinuitate în trecut. Este ceea ce vom numi concepția „pozitivă” în legătură cu starea inițială. Nu mai este vorba în acest caz nici de începutul lumii în timp, nici de începutul timpului, ci de o stare excepțională a materiei-energiei cosmice, cu totul diferită de cele pe care le cunoaștem. Inducțiile noastre ne conduc la ea, fără a ne permite să trecem dincolo. Este o singularitate care se situează într-o istorie cosmică de fapt infinită și care limitează retrospectivitatea noastră.

Această interpretare este mai suplă decît precedenta și permite variante. Starea inițială poate fi înțeleasă într-un sens mai mult sau mai puțin strict. Varianta cea mai categorică apare în teoria lui Gamow, după care starea inițială a materiei-energiei cosmice este atît de diferită de cele pe care le putem cunoaște direct și evoluează într-un mod atît de evident ireversibil, încît pare cu totul imposibil să se conceapă etapele care au putut conduce materia în starea în care s-a găsit, în vecinătatea momentului inițial, dar de partea aceasta. Sub această formă extremă, interpretarea „pozitivă” nu diferă de interpretarea „metafizică”

¹ *L'Hypothèse de l'atome primitif et le problème des amas de galaxies*, in *La Structure et l'Evolution...*, op. cit., p. 6. Aceste două texte au fost publicate la un interval de peste douăzeci de ani; este vorba, deci, nu de remarci ocazionale, ci de o gîndire consecventă a autorului.

decît prin ipoteza continuării spre trecut a existenței fizice, dar fără a se putea gândi ceva despre „preistorie”.

O variantă mai puțin categorică — care nu a fost urmată de altfel pînă acum de nici o cercetare pur cosmogonică — este oferită, cum am văzut, de modelele relativiste anizotrope ale lui Schücking și Heckmann și ale altora, și de modelul newtonian în rotație al lui Heckmann. Trecerea Universului prin starea singulară ar avea atunci un sens pur geometric, ea nu ar afecta decît distribuția materiei la scară foarte mare și nu ar avea în mod necesar vreo urmare asupra structurilor atomice, moleculare, chiar planetare și stelare.

1. *d.* (sau 2. *a.*). Cel de-al patrulea sens al tezei (sau primul sens al antitezei).

Istoria Universului este periodică. Momentul inițial nu este decît începutul unei perioade.

Tolman a demonstrat, în cadrul ipotezelor robertsoniene, că dacă metrica cosmică evoluează periodic, ea nu poate oscila decît între două singularități¹. Așa cum sugerează cercetările lui Heckmann, această concluzie nu mai este desigur valabilă în anumite condiții de anizotropie, dar pentru a nu complica în mod inutil o discuție laborioasă, ne vom menține la cazul izotrop. În cazul în care Universul ar fi periodic, partea istoriei cosmice care ar preceda singularitatea pe care o indică inducțiile noastre ar fi o suită indefinită de cicluri identice cu cel despre care avem unele cunoștințe, obținute plecînd de la datele existente în prezent.

Dar trebuie să împrăștiem seriosul echivoc pe care îl ascunde această ipoteză a periodicității, ipoteză perfect plauzibilă dacă luăm în considerație numai ecuațiile cosmologiei relativiste și datele actuale de observație.

După o remarcă făcută chiar de către Friedman, în cazul în care funcția $R(t)$ ar fi periodică, ar trebui să se facă o alegere în privința topologiei timpului. S-ar putea de exemplu identifica începutul și sfîrșitul perioadei, astfel încît timpul existenței cosmice să fie finit.

Dar această formă riguroasă a ipotezei periodicității se poate într-adevăr concepe? Faptul poate fi îndoielnic, căci în acest caz, mulțimea de referință pentru momentele timpului ar fi compactă,

¹ *Relativity, Thermodynamics...*, op. cit., § 172, p. 431. Pentru ca Universul să poată oscila între două stări nesingulare, ar trebui ca presiunea fluidului să crească în timpul expansiunii.

iar relația de ordonare totală nu ar mai fi valabilă : despre orice eveniment s-ar putea spune în mod indiferent că s-a produs înainte sau după momentul zero. Orice raționament prin care se arată că un eveniment provine din starea Universului la acest moment ar trebui să servească de asemenea și pentru a arăta că el conduce la aceasta. Nu ar mai exista deci nici orientare temporală, nici cauzală. Un Univers strict periodic ar fi deci în realitate un Univers atemporal.

Dacă vrem deci să evităm această închidere paradoxală a timpului, trebuie să admitem că evoluția ciclică, dacă există, se produce într-un timp infinit, adică de fapt că se suprapune unei suite ireversibile de evenimente (ceea ce, după discuțiile lui Tolman pe care le-am menționat, se poate concepe fără dificultăți). Într-adevăr, dacă două evenimente cosmice care își corespund unul altuia în două perioade diferite sînt strict indiscernabile, cum ar putea fi deosebite perioadele? Soluția ciclică deplasează problema originii, dar nu o rezolvă.

Oricît am considera-o de îndoielnică, ciudata presupunere a lui Pachner clarifică totuși în mod calitativ ideea că un Univers cu adevărat periodic este complet atemporal. Conform acestei presupuneri¹, Universul se poate identifica, în primă aproximație, cu un Univers relativist închis și oscilant. În timpul fazei de expansiune, încetinirea mișcării este însoțită de condensarea energiei cinetice în masă. Cînd această condensare este încheiată, expansiunea se oprește, începe contracția, care se accelerează, antrenînd transformarea masei în energie cinetică. Ajuns în stare punctuală, Universul o ia de la început. Această schemă este puțin probabilă din mai multe motive, dar nouă ne va reține atenția următorul aspect : chiar presupunînd că schema ar fi compatibilă cu principiul conservării energiei, ea nu este sigur compatibilă cu cel de-al doilea principiu. Într-adevăr, periodicitatea evoluției cosmice nu este obținută decît prin juxtapunerea, în orice moment, în întreg Universul, a unor procese cu sensuri termodinamice contrarii. Deoarece expansiunea este însoțită de o deplasare spre roșu a radiației, acesta este un proces cu sens termodinamic pozitiv. În schimb, condensarea în masă a unui anumit tip de energie nu poate fi decît o transformare cu entropie descrescătoare. În acest model al lui Pachner sensul timpului nu poate fi deci definit în nici un moment. Vom presupune că, într-un fel sau altul, această particularitate se va regăsi în orice model cu adevărat periodic, în care periodicitatea nu se suprapune unei evoluții ireversibile.

¹ Vezi mai sus, p. 281.

2. b. Cel de-al doilea sens al antitezei¹.

Nu există evenimente cosmice, ci numai evenimente locale sau regionale; timpul cosmic nu este decît o formă geometrică lipsită de sens.

După această concepție, existența unei istorii cosmice concrete și integrale este o iluzie. Singularitatea în trecutul expansiunii nu este decît un miraj, sau cel mult un eveniment regional. Timpul cosmic al cosmologiei newtoniene sau al cosmologiei robertsoniene nu este decît o ipoteză geometrică care permite racordarea apriorică a proceselor locale observate sau deduse, fără a oferi însă o adevărată garanție cu privire la natura lucrurilor. Această poziție agnostică, necosmologică, este o poziție pur negativă față de starea inițială, ba chiar față de Universul în sine. Într-un sens ea este cea mai comodă și, probabil, este cea preferată de o serie de astronomi și fizicieni. Vom vedea de ce ea nu este totuși cu adevărat satisfăcătoare.

2. c. Cel de-al treilea sens al antitezei.

Există desigur un proces cosmic continuu, în care este posibilă din punct de vedere teoretic o secțiune instantanee, dar nu există „moment inițial”, pentru că procesul cosmic decurge uniform și indefinit; singurele care au început sînt transformările locale. Aceasta este poziția teoriei stării staționare. Procesul uniform care materializează scurgerea infinită a timpului cosmic este generarea continuă de materie.

2. d. Cel de-al patrulea sens al antitezei.

Există o istorie cosmică, o devenire ireversibilă a ansamblului entităților fizice, dar originea acestei istorii este situată la infinit în trecut. Această formă a antitezei este destul de apropiată de fapt de forma „metafizică” a tezei, pentru că exemplul lui Milne arată că în interiorul aceleiași cosmologii nu este imposibil ca printr-o schimbare a scării de măsură a timpului să se treacă de la una la alta.

¹ Am considerat ipoteza periodicității atât printre sensurile tezei (pentru că trecerea prin singularitatea cosmică este admisă), cit și printre sensurile antitezei (pentru că nu există origine adevărată).

C. Dialectica originii

Enumerarea precedentă pare poate complicată și anostă, dar ar fi fost imposibil să o simplificăm mai mult fără a denatura situația conceptuală în care se angajează orice meditație privind originea, în starea actuală a cunoștințelor pozitive. Deși nu este la drept vorbind antinomică, ca în „dialectica transcendentă”, această situație nu este totuși mai puțin *dialectică*: nu numai că este imposibil să se invoce argumente convingătoare în favoarea uneia sau alteia dintre teze, dar, mai mult, orice încercare de a justifica, sau chiar de a preciza, una sau alta dintre ele duce aproape inevitabil la alterarea sensului. Este tocmai ceea ce ne propunem să evidențiem prin dezvoltarea în principal a următoarelor puncte.

a. Întrebarea cu privire la originile istoriei cosmice nu este, așa cum putea să pară acum cincizeci de ani, gratuită și inutilă din punct de vedere științific. Așa cum am avut ocazia să remarcăm, ea se impune acum cu o anumită insistență la orizontul diferitelor cercetări pozitive.

b. Orice reprezentare fizico-matematică sigură a acestei stări inițiale prezintă totuși neajunsuri, inducțiile spre trecut, pornind de la observația din prezent, nereprezentând o convergență netă.

c. Interpretările „tari” ale stării inițiale, care fac din aceasta o singularitate sau o discontinuitate a istoriei cosmice, sînt într-un anumit sens cele mai satisfăcătoare¹. Ele izbesc, totuși, atît de puternic obișnuințele de gîndire ale fizicianului încît puțini le consideră ca fiind altceva decît un mit rațional.

d. Interpretările „slabe”, cu o singularitate cosmologică amortizată, mai curînd deplasează problema decît răspund la ea, iar ipoteza periodicității, greu de conceput în sensul strict al timpului care se încheie, ridică în orice caz dificultăți foarte serioase.

e. Negarea pur și simplă a istoricității cosmice nu este un răspuns inatacabil, căci ea este greu de pus în acord cu presupunerile foarte puternice cu privire la ireversibilitatea cosmică pe care le-am relevat și, poate, cu simplul fapt al unei ireversibilități locale.

f. Dacă ar fi de ales, luînd în considerație toate elementele dialecticii, autorul s-ar alătura cel mai bucuros teoriei stării staționare.

a. Cunoaștem cea mai mare parte a motivelor care militează în favoarea luării în considerație a ideii unei stări inițiale. Depla-

¹ Descoperirea, în anul 1965, a radiației izotrope corespunzătoare temperaturii corpului negru de 2,7 K a confirmat teoria existenței unei singularități în trecut (vezi PENZIAS, A., WILSON, R., *Astrophys. J.*, 142, 419, 1965). — N.T.



sarea spre roșu și interpretarea sa structurală cu ajutorul modelelor robertsoniene, relativiste sau nu, conduce ușor la concluzia că există șanse destul de serioase ca istoria geometrică a Universului să fie descrisă în mod adecvat de unul din modelele acestei categorii foarte largi, în care funcția $R(t)$ are un zero. În acest moment zero metrica este singulară și, dacă acceptăm ipoteza conservării, densitatea materiei-energiei este infinită.

Mai general, presupunerile în legătură cu ireversibilitatea impuse de observație sugerează în mod natural ideea unui început. În plus, mai concret, deși poate mai puțin convingător, ritmul actual al marilor procese cosmologice — formarea stelelor pornind de la materia interstelară, formarea elementelor grele pornind de la hidrogen — nu este destul de accentuat, în ochii multor astrofizicieni, pentru a explica multiplicitatea actuală a structurilor complexe observate. Mulți cred, fără a putea aduce totuși dovezi convingătoare, că procesele genetice au fost mai numeroase sau mai rapide într-o anumită epocă din trecutul cosmic.

În sfârșit, estimarea numerică a duratei probabile a anumitor secvențe cosmice mari aduce argumente destul de puternice în favoarea tezei. Într-adevăr, deducerile care se pot face duc la un trecut „scurt”, de ordinul a câtorva miliarde, cel mult câteva zeci de miliarde de ani. Inversul constantei lui Hubble este actualmente estimat la maximum treisprezece miliarde de ani¹. Acesta ar fi intervalul de timp care ne-ar separa de „origine”, dacă expansiunea este liniară; dacă expansiunea se încetinește, așa cum indică observațiile actuale, trecutul cosmic este încă și mai scurt. Calculul bazat pe dezintegrarea mineralelor radioactive situează solidificarea scoarței terestre cu patru sau cinci miliarde de ani în urmă. Aceasta este în mare și vârsta Soarelui, astru reprezentativ pentru populația stelară medie a Galaxiei. Cît despre Galaxie, există diferite motive care ne fac să credem că ea este o structură în evoluție „rapidă”. După calculele lui Hoyle (nu-l putem suspecta deloc că minimizează duratele cosmice, pentru că el nu crede în starea inițială), Galaxia ar fi început să se formeze acum cel mult douăzeci și cinci de miliarde de ani.

Noțiunea de trecut „scurt” poate părea arbitrară. Ea va părea mai puțin arbitrară dacă remarcăm că aceste câteva miliarde de ani corespund celor câteva miliarde de ani-lumină care ne separă după cît se pare de obiectele cele mai îndepărtate pe care le putem observa. Pe de altă parte, aceste durate reprezintă puțin față de

¹ Determinări recente indică o valoare mai scăzută a constantei lui Hubble, $H = 50 \text{ km/s/Mpc}$, ceea ce duce la o valoare mai mare pentru „vârsta” Universului, $1/H = 17 \cdot 10^9 \text{ ani}$. — N. T.

cele pe care calculele mecanicii statistice le atribuie ansamblurilor stelare, în ipoteza unei evoluții pur cinematice, locale și întâmplătoare. În sfârșit, vârsta expansiunii, cea a scoarței terestre și cea a Soarelui sînt calculate pornind de la date empirice diferite, postulate diferite, legi fizice diferite. Aprioric, rezultatele ar putea să se eșaloneze într-un mod oarecare între zero și minus infinit. Convergența lor, chiar aproximativă, sugerează insistent existența unei legături reale între aceste rezultate diferite.

Acestor motive pozitive li se adaugă altele mai dialectice și destul de apropiate de cel care stă la baza demonstrației „tezelor” în antinomiile lui Kant, cel care răspunde exigenței raționale a determinării complete a condițiilor de existență ale faptului empiric, pentru că astăzi, ca întotdeauna de altfel, această exigență este cea care motivează în esență căutările cosmologice și cosmogonice. Or, ipoteza stării inițiale înlesnește concentrarea într-un ansamblu de condiții inițiale relativ simple și bine definite a tuturor rațiunilor suficiente pentru existența structurilor observate, în virtutea legilor fizice cunoscute.

b. Totuși, chiar în momentul în care admitem verosimilitatea empirică și utilitatea rațională a stării inițiale, se naște întrebarea : se poate oare concepe o reprezentare care să satisfacă toate exigențele implicate de relația sa cauzală cu fenomenele actuale? Tot ce putem spune este că răspunsului îi lipsește claritatea. Costa de Beauregard observă că dacă ireversibilitatea termodinamică este interpretată statistic, atunci la originea evoluției cosmice trebuie să fie presupusă o „fantastică improbabilitate”. Acest concept ar putea desigur să fie în acord cu „atomul primitiv” al lui Lemaitre, care concentrează într-un singur *quantum* întreaga energie cosmică, dar este el de asemenea în acord cu *ylem*-ul lui Gamow, gaz neutronic perfect omogen, în care energia este uniform distribuită între o mulțime de particule de materie-energie perfect identice unele cu altele? Evident, ne lipsește un postulat indiscutabil care să ne permită să fundamentăm folosirea noțiunii de probabilitate în condiții atât de aberante față de cele care sînt luate în considerație în general în fizică.

În afară de aceasta, cîteva remarci simple ne arată riscul la care ne expunem atunci cînd vrem să trecem de la constatarea sigură a unei evoluții termodinamice la situarea ipotetică a începutului acestei evoluții. După cel de-al doilea principiu, starea inițială a Universului ar trebui să fie concepută ca o stare de entropie minimă. Dată fiind însă extrema generalitate a raționamentelor termodinamice și caracterul lor „fenomenologic”, aceasta nu este deloc suficient pentru a preciza o reprezentare sau un model

al Universului în această stare. Trebuie totuși să notăm că termodinamica clasică dispunea, cu ajutorul principiului lui Nernst-Planck, de un mijloc pentru a stabili o scară absolută a entropiilor. Zero-ul acestei scări este entropia unui cristal pur la zero absolut, după sugestia făcută de Planck, în urma demonstrației lui Nernst, care arătase că pentru orice transformare care lasă constantă temperatura unui astfel de corp, variația entropiei este nulă. Acest principiu nu este o convenție lipsită de consecințe, ci permite calculul efectiv al entropiilor. Definirea unui zero al entropiei nu are sensul pur convențional pe care îl poate avea definirea unui zero al energiei. Într-adevăr, tocmai datorită rolului pe care îl joacă variația entropiei în reprezentarea transformărilor fizice cărorora le dă un sens privilegiat, zero-ul entropiei trebuie să corespundă unei stări excepționale a materiei. Însuși enunțul principiului lui Nernst arată că definirea zero-ului entropiei face ca termodinamica să iasă din domeniul pur fenomenologic în care se găsea la început. Ne-am putea deci gândi aprioric că această definiție are o semnificație cosmologică.

Totuși, după câte știm, nici o teorie cosmogonică nu a reținut imaginea cristalului pur la zero absolut pentru a reprezenta starea inițială a Universului... Aceasta pentru că dacă această imagine seducătoare nu contrazice cerința unei stări foarte condensate a materiei la începutul expansiunii, ea nu răspunde în nici un fel cerințelor cosmogoniei. Temperaturi foarte mari pentru sinteza elementelor, suficientă energie „actuală” sau actualizabilă necesară pentru a „lansa” expansiunea... la toate acestea nu răspunde deloc acest model al perfecte armonii și al echilibrului de nezdruncinat care este cristalul pur în starea de riguroasă imobilitate pe care o semnifică temperatura zero¹... Trecere de la potență la act? de la ordine la dezordine? de la energia „nobilă” la energia „decăzută”? Ideea concretă de transformare fizică spontană este în realitate supradeterminată. În funcție de problema considerată, abordarea experimentală și teoretică impune concepte derivate mai mult sau mai puțin direct din una sau alta din aceste semnificații concrete. Științele particulare se acomodează racordându-și cât mai bine conceptele sau formulele făurite, pentru a răspunde diferitelor tipuri de transformări. Dar cosmogonia poate tolera cu greu acest polimorfism al evoluției, sau al involuției fizice. De asemenea, noțiunea sa de stare inițială riscă să nu poată fi în același timp destul de precisă pentru a fi abordată matematic și destul

¹ Riguros vorbind, această stare nu are sens din punctul de vedere al fizicii contemporane. În virtutea relațiilor de incertitudine, poziția riguros definită a unui atom într-un cristal este incompatibilă cu o viteză riguros nulă a sa.

de largă pentru a domina toate tipurile de transformări cosmice care se pot concepe.

În sfârșit, astrofizica ne învață că anumite secvențe genetice merg de la difuz la condensat — după cât se pare acesta este cazul formării stelelor. Alte secvențe pot fi însă legate de fenomene explozive, locale sau cosmice, ca de exemplu sinteza elementelor. Aceasta sugerează imagini contrare cu privire la starea inițială.

c. Caracterul dialectic al reflecției asupra originii va ieși în evidență cu o deosebită claritate dacă observăm că interpretările „tari” („metafizice”, care implică o totală discontinuitate a istoriei cosmice) sînt în același timp cele care satisfac cel mai bine exigența determinării complete și cele care șochează cel mai mult obișnuințele spiritului științific. Teoria genezei elementelor a lui Alpher, Hermann și Gamow, teorie asupra căreia vom reveni, este în această privință un fel de capodoperă. Ipoteza stării inițiale singulare permite într-adevăr acestor autori să prezinte geneza tuturor speciilor atomice cunoscute ca pe un proces unic și continuu pornind de la cele mai simple structuri nucleare¹. Deși, la drept vorbind, insuficient în privința anumitor detalii importante, acordul cu curba empirică a abundenței elementelor este totuși deosebit de remarcabil dacă ne gândim la simplitatea conceptuală a teoriei și la relativa ei simplitate matematică.

Și totuși, fără indoială că celor mai mulți dintre oamenii de știință angajați în studiul pozitiv al Universului, acest lucru nu li se pare *credibil* și ei preferă în prezent să se îndrepte spre teoria care face din geneza elementelor un proces stelar. Aceasta este o teorie dificilă, complicată, obligată să facă apel la numeroase tipuri de reacții nucleare și să înmulțească ipotezele, dar capabilă totuși să se refere la fiecare pas la unul sau altul dintre rezultatele dobîndite de astrofizica teoretică sau empirică.

Astăzi, ca și pe timpul lui Kant, gîndirea științifică este deci în mod spontan înclinată spre antiteză. Aceasta se datorește poate pur și simplu faptului că antiteza permite științei să pună și să rezolve mai bine problemele, să-și exploreze propriile domenii de cercetare într-o relativă siguranță metafizică. Căci originea singulară a istoriei cosmice scoate la iveală în mod extrem de brutal și, ca să spunem așa, nepotrivit, evidența unei limitări esențiale, a unei infirmități constituționale a oricărei cunoașteri raționale

¹ În prezent, odată cu adoptarea modelului cosmologic cu un început fierbinte în trecut (modelul *big-bang*), se consideră că elementele chimice de la H la Li s-au format în primele faze ale evoluției Universului, iar celelalte s-au format prin nucleosinteză stelară, conform teoriei dezvoltate de E. M. BURBIDGE, G. R. BURBIDGE, W. A. FOWLER, F. HOYLE.

a lumii. Ideea originii singulare unifică și condensează ideea de univers, tinzând să-i rezume conținutul prin enunțarea câtorva condiții inițiale, asociate legilor fundamentale ale geometriei și ale fizicii. Aceasta cu atât mai mult cu cât ea acumulează mai multă ignoranță în privința acestui punct unic care scapă prin definiție oricărei atingeri, făcând în același timp ca întregul „trecut” anterior să se cufunde într-o obscuritate definitivă, să fie conceput ca existând înaintea timpului sau ca o eră inaccesibilă a istoriei fizice.

Infinitatea devenirii cosmice, exprimabilă într-o multitudine de procese complicate, bizare și imprevizibile, dar înălțându-se într-un ansamblu ordonat toate evenimentele după o urzeală temporală neîntreruptă, oferă o imagine în aparență mai liniștitoare. Granița dintre cunoaștere și ignoranță, în loc să capete înfățișarea unui zid de netrecut, se fragmentează într-o mulțime de trasee locale, care pot fi deplasate și rectificate indefinit, cu mijloacele mereu mai puternice ale harnicei și neobositei furnici științifice. În realitate însă, această siguranță este destul de fragilă. Dacă timpul este infinit, nu există nici un motiv serios pentru a presupune că întreg ansamblul devenirii cosmice este omogen și regulat. În perspectiva infinitului, orice cunoaștere devine instantanee, deci iluzorie. Oricât de abisal ar fi infinitul matematic, există o anumită regularitate care, prin definiție, ne permite să-l stăpânim într-un anumit sens; a miliarda zecimală a lui π este totuși o zecimală. Dar infinitul fizic, luat în serios, scapă oricărei legi. Lanțul infinit de cauze și efecte pe care îl refuză la Kant, în numele pretențiilor rațiunii, partizanul tezei, nu este decât o figurare moderată a infinitei ignoranțe pe care o implică infinitul timpului fizic. Preferința fizicianului pentru antiteză nu are deci o justificare prea solidă. La drept vorbind ea nu este nici măcar epistemologică, ci ar fi mai curând etică, provenind într-un fel din igiena sa mentală.

Rațiunea nefiind aici împăcată cu sine, nu este deci de mirare că în dezbateri au fost investite valori religioase, că reapariția la orizontul reprezentării raționale a naturii, a imaginii originilor a făcut să se nască în secret speranța sau teama unei interpretări a ideilor cosmogonice în sensul teologiei. Aceasta pentru că pentru spiritele formate în respectul sau deridarea dogmelor iudeo-creștine — adică, pe scurt, pentru cvasitotalitatea membrilor colectivității științifice a secolului al XX-lea — ideea unei origini a Universului nu poate să nu evoce conceptul creației *ex nihilo* a lumii, pe care gândirea antică și medievală a sfârșit prin a-l degaja din confruntarea dintre speculațiile filozofiei grecești și mitologia biblică. Oricine „se gîndește la aceasta”, cu atât mai mult cu cât

natura *singulară* a originii în cosmologia modernă permite oarecum să se găsească un echivalent matematic al acestui aspect misterios și transcendent în raport cu rațiunea umană, pe care tradiția creștină îl conferă actelor divine în general și acestuia în special. Dar, cum este și natural în prezența unui asemenea anacronism, discuția este în general ocolită și se hrănește mai ales din subînțeleșuri și neînțelegeri, din sugestii și suspiciuni.

La drept vorbind însă, lăsându-i la o parte pe câțiva vulgarizatori și apologiști, foarte puțini oameni de știință competenți și care-și recunosc deschis credința creștină au presupus în mod explicit o echivalență între singularitatea inițială a teoriilor cosmogonice și creația propovăduită de dogmă¹. Milne a afirmat-o în toate ocaziile, dar Eddington, deși creștin declarat, nu a avut niciodată în vedere altă posibilitate cosmologică decât modelul Lemaître-Eddington, care nu presupunea nici o singularitate. Pe de altă parte, din motive complexe, în același timp științifice, religioase și estetice, el s-a opus în mod explicit identificării creației de care vorbește dogma cu starea inițială a modelelor relativiste². Lemaître, primul autor în ordine cronologică al unei cosmogonii în care Universul, și odată cu el timpul, începe într-o stare singulară la distanță finită în trecut, a păstrat mult timp tăcere asupra posibilității de a înțelege „atomul primitiv” ca primul stadiu al unei lumi abandonate sieși de către creatorul ei. Când s-a hotărât să rupă tăcerea, aceasta a fost pentru a declara, vorbind despre teoria sa, „că ea este în întregime străină oricărei probleme metafizice sau religioase...”, că ea „îi lasă materialistului libertatea de a nega orice ființă transcendentă...” și că „...pentru credincios, ea exclude orice încercare de familiaritate cu Dumnezeu, în acord cu spusele lui Isaia, vorbind despre Dumnezeul ascuns”³.

Cît despre Gamow, el vorbește despre creația Universului, însă mai curînd în maniera unui grec decît în cea a unui creștin, așa cum precizează el însuși atunci cînd scrie în legătură cu criticile ridicate de folosirea acestui cuvînt: „Autorul dă acestui termen,

¹ Îl cităm, printre ei, pe E.T. Whittaker, care scria „Dogma creației nu a putut fi combătută niciodată în mod serios altfel decît prin afirmația că lumea a trebuit să existe dintotdeauna, într-o stare mai mult sau mai puțin asemănătoare cu starea sa actuală. Dar, în prezent, în fața faptelor, nimeni nu mai poate vorbi astfel. Evenimentele care pentru noi sînt cele mai interesante din istoria Cosmosului trebuie situate în timp, între creație și secătuirea finală...” în *Le commencement et la fin du monde*, trad. Humbert, Albin Michel, Paris, 1953, p. 90.

² Aceasta i-a dat lui Russell ocazia de a-l atribui o trăsătură pe care Eddington a primit-o destul de prost. Vezi lucrarea noastră *Philosophie et Théorie physique chez Eddington*.

³ *L'Hypothèse de l'atome primitif et le problème...*, în *La Structure et l'Évolution...*, op. cit., p. 7.

nu sensul de „fabricare a ceva pornind de la nimic”, ci mai curînd de „fabricare a ceva pornind de la un material inform”, așa cum se vorbește, de exemplu, despre „ultima creație a modei pariziene”¹.

Dealtfel, în teoria lui Gamow, singularitatea originară nu este un adevărat început și, în mod vizibil, Gamow nu se preocupă de teologie.

Nici noi nu ne vom preocupa.

d. Dacă interpretările „tari” ale originii angajează gîndirea într-o dialectică destul de încurcată, interpretările „slabe” nu fac decît să deplaseze problema. Mai întîi, în ceea ce privește posibilitatea unei periodicități cosmice, ne găsim în fața unei alegeri ale cărei elemente le reamintim pe scurt: sau periodicitatea este înțeleasă în sens strict (identificarea începutului și sfîrșitului perioadei) și timpul se închide — dar atunci, așa cum am spus, însăși temporalitatea existenței fizice devine de neînțeles. Sau perioadele cosmice se succed într-un timp infinit — dar aceasta nu are sens decît dacă periodicitatea se suprapune unei evoluții ireversibile (fără de care ar trebui să revenim la timpul newtonian existent în sine, independent de evenimentele care se petrec). Or, chiar această ipoteză slabă a periodicității se lovește de dificultăți de principiu serioase.

Într-adevăr, dacă evoluția cosmologică este ciclică, faza actuală de expansiune a fost *precedată* și va fi *urmată* de o fază de contracție, de care se deosebește pentru că ipoteza timpului închis este eliminată. Trebuie deci ca, „sub” pulsația cosmologică, dacă se poate spune așa, să se scurgă un același curs al timpului, deci o aceeași secvență de evenimente cosmice, sau de evenimente locale, integrabile din aproape în aproape într-o aceeași secvență cosmică. Sintem conduși deci în mod natural la presupunerea că sensul termodinamic va rămîne același de la o fază la alta a pulsației. Dar se poate într-adevăr concepe așa ceva? Din cele expuse mai înainte, avem toate motivele să spunem că sensul termodinamic este „același” cu sensul expansiunii. Ce se va întîmpla atunci în timpul contracției? Dacă se admite raționamentul lui Gold, pulsația este imposibilă, întrucît, contracția fiind *același lucru* cu expansiunea, ea nu ar putea nici să o preceadă, nici să îi urmeze. Dacă refuzăm această consecință, trebuie să arătăm că o fizică a contracției este compatibilă cu termodinamica. Probabil că acest lucru nu ar fi prea ușor; cu o deplasare spre violet care ascultă de legea lui Hubble, astronomia ar fi confruntată cu un super-paradox al lui Olbers...

¹ *La Création de l'Univers*, trad. G. Guéron, Dunod, Paris, 1956, p. VIII.

Notăm însă în treacăt că această dificultate nu este deloc ridicată de modelul newtonian în rotație al lui Heckmann, în care inversarea contracției în expansiune se poate face fără singularitate.

e. Mulți astronomi par dispuși să se mulțumească pur și simplu cu o negare neprecizată a stării inițiale. Acesta poate fi privit ca un mod rezonabil de a se debarasa de o dialectică considerată jenantă, ba chiar sterilă. Totuși o eschivare nu trebuie confundată cu o rezolvare. Trebuie însă să ținem seama că dacă, odată cu starea inițială, negăm însăși realitatea unei istorii cosmice, adică posibilitatea unei aplicări universale a relației înainte-după, ne găsim într-o opoziție neplăcută cu puternicele presupuneri asupra ireversibilității pe care le-am subliniat, în care caz reapare enigma sensului local al timpului. Dacă, pe de altă parte, admitem istoria cosmică, contestând totuși starea inițială, ca în modelul Lemaître-Eddington sau în universurile lui Heckmann, în care singularitățile metricei pot fi depășite fără o adevărată ruptură a cursului evenimentelor cosmice, atunci condițiile inițiale ale evoluției universale sînt îndepărtate la infinit. Rezultă de aici un punct de vedere mai satisfăcător? Este imposibil să se dea un răspuns motivat *in abstracto*, dar în ceea ce privește modelul Lemaître-Eddington, am arătat motivul pentru care era dificil să i se asocieze o reprezentare cosmogonică satisfăcătoare: această constatare este cea care l-a condus pe Lemaître acum treizeci de ani la „atomul primitiv”...

f. În sfîrșit, dacă ne este permis să ne exprimăm o părere, preferința noastră se îndreaptă spre teoria stării staționare (indiferent dacă este vorba de versiunea lui Bondi sau de cea a lui Hoyle), pentru că ea pare să ofere cea mai elegantă rezolvare pentru toată această dialectică¹. Într-adevăr, această teorie neagă starea inițială, menținînd totuși devenirea în Univers. Ea permite multiplicarea la infinit a proceselor locale, unificate totuși de o aceeași trecere a timpului și integrate în permanența înfățișărilor cosmice la scară mare. Ar mai trebui ca teoria stării staționare să se dovedească capabilă să explice faptele observate cel puțin la fel de bine ca celelalte teorii și să poată depăși dificultățile specifice pe care le întâlnește.

Remarcile precedente au fost poate suficiente pentru a-l convinge pe cititor că avem de-a face mai mult cu o *dialectică* a origi-

¹ În prezent, odată cu abandonarea unanimă a teoriei stării staționare în urma evidențelor observaționale, desigur că și autorul a trebuit să renunțe la această preferință a sa. — N. T.

nilor decît cu o *problemă* a originilor. Dacă lucrurile stau astfel, se pune imediat întrebarea : de ce această dialectică ? Sînt posibile două tipuri de răspunsuri :

α . Această dialectică nu este decît o aparență datorată unui anumit amestec, întîmplător și trecător, de cunoaștere și de ignoranță.

β . Dialectica ține de natura lucrurilor.

În favoarea tipului (α) se poate invoca precedentul istoric al primei antinomii kantiene : dacă aceasta a fost privată de jumătate din sensul său, aceasta se datorește numai progresului geometriei. Într-adevăr, antinomia începutului în timp și cea a limitei în spațiu s-au separat mai întîi una de alta ; în modelele moderne ale cosmologiei, finitudinea în spațiu și finitudinea în timp sînt independente una de alta (prima depinde de k , cea de-a doua de $R(t)$). Pe de altă parte, antinomia limitei în spațiu a încetat să mai fie o antinomie în contextul geometriei moderne, pentru a deveni o simplă problemă pentru care se poate concepe o soluție pozitivă. Această sfărîmarea a unei situații conceptuale pe care Kant o credea indisolubilă în caracterul său antinomic ne poate face să ne îndoim că ar exista ceva metafizic în dialectica originilor, așa cum o concepem astăzi.

Totuși, raționamentul poate fi inversat, din punct de vedere dialectic, în favoarea tipului (β). Într-adevăr, separarea primei antinomii kantiene poate însemna că atunci cînd considera că conceptele de timp cosmic și de spațiu cosmic sînt antinomice dacă sînt *luate împreună*, Kant greșea, dar că el avea totuși dreptate să creadă că conceptul de istorie integrală este efectiv antinomic. Dealtfel, s-ar putea ca, recitind argumentația primei antinomii, să ne convingem că de fapt dialectica timpului este fundamentală și că dialectica spațiului este derivată din ea, poate în mod fals.

Asimetria timpului este în același timp cea mai universală dintre caracteristicile naturii și poate cea mai înrădăcinată dintre cele ale gîndirii. Deoarece gîndirea rațională, destinată să vizeze atemporalul, nu poate îmbrățișa dintr-o singură privire totalitatea obiectelor sale, este constrînsă să se desfășoare în secvențe nu întotdeauna reversibile, așa cum o arată însăși forma simbolurilor logicii. Se schițează o nouă mișcare dialectică : explorînd consecințele ipotezei că ireversibilitatea este cosmologică, ajungem în final la ipoteza contrară, că ea este epistemologică... Dar ne vom abține să explorăm acest aspect al problemei și ne vom mîrgini la o concluzie sceptică sau agnostică care invită la suspendarea judecății, nu numai în problema de a ști dacă „a existat” efectiv o stare inițială a Universului, așa cum „au existat” ghețari în regiu-

nea Lyonului și o supernovă acolo unde se vede nebuloasa Crab, dar chiar și în problema de a ști dacă întrebarea poate avea vreun sens și nu ascunde cumva un nonsens.

Preferința noastră s-ar îndrepta spre imaginea unui timp care se scurge pretutindeni și fără încetare, fără început sau sfârșit — chiar dacă nu fără mâine și fără ieri, ca dragostea la care visa poetul (căci aceasta nu ar mai fi timpul) — în care existența nu se perpetuează decât prin devenirea sa și prin reînnoirea sa neîncetată și față de care pretențiile făuritorilor de imperii și ale exploratorilor lumilor apuse par la fel de derizorii ca și zborul ușor al efemerului.

Capitolul IX

TEORII COSMOGONICE

Gîndirea cosmogonică este în plin avînt. Expunerea noastră ar fi deci incompletă dacă nu am da cîteva indicații privind ipotezele, rezultatele și problemele care stau astăzi la dispoziția celor care își pun întrebări asupra istoriei Universului, sau a marilor structuri cosmice.

Totuși, de data aceasta vom avea cu totul alt scop și altă metodă decît în capitolele precedente. Cosmologia structurală este centrată în întregime pe cîteva probleme destul de bine delimitate. Chiar fără o inventariere completă, ar fi totuși posibilă o trecere în revistă a diferitelor tipuri de soluții încercate pînă acum și o analiză epistemologică detaliată. Dar cercetarea cosmogonică, așa cum se prezintă la ora actuală, nu permite și nici nu cere de altfel o astfel de prezentare. Ea a devenit prea diversificată pentru a putea oferi o vedere de ansamblu¹.

Pe măsură ce se acumulează datele de observație și crește finețea metodelor de investigație teoretică, cosmogonia devine din ce în ce mai specializată și, în același timp, din ce în ce mai dependentă de tot restul fizicii. Dar deși se găsește în fața necesității, destul de caracteristice, de a împrumuta din toate specialitățile, cercetarea cosmogonică își păstrează totuși un stil, precum și o anumită savoare destul de originală, pentru că se simte confluența unei științe tinere cu niște speculații vechi, a unor gînduri arhaice cu cea mai fină punere la punct a celor mai noi idei — amintin-

¹ Cel mai complet studiu publicat pînă acum cu privire la geneza elementelor este studiul lui E. M. și G. R. BURBIDGE, W. A. FOWLER, F. HOYLE, *Synthesis of the Elements in Stars*, Rev. Mod. Phys., 29, 1957, pp. 546—650, care se întinde pe mai mult de o sută de pagini și în care sînt citate mai mult de două sute de articole, dintre care cel mai vechi datează din 1929, marea majoritate fiind posterioare anului 1950. Trebuie să ținem seama și de faptul că discuția este centrată pe o ipoteză definită și că lucrările inspirate din alte ipoteze nu sînt întotdeauna citate. Bineînțeles că, după 1957, literatura s-a mai îmbogățit.

du-ne pareă de acele stele pe care astrofizica le descrie ca începînd să lucească în tresăririle unei copilării turbulente și în care se agită totuși atomi foarte vechi, vestigii ale unor lumi dispărute.

Ne vom mărgini pînă la urmă să evidențiem cîteva teme dominante ale cosmogoniei moderne, să notăm anumite contradicții profunde care o animă și o polarizează, și să evocăm cîteva teorii sintetice, în care cosmogonia, înțeleasă în sensul său deplin, se asociază strîns cu cosmologia structurală. Primele noastre reflecții vor fi consacrate temei *creației*.

A. Temele cosmogoniei moderne

I. Declinul substanței și „creația”

Pe tot parcursul paginilor precedente am fost forțați, fără vreo intenție sistematică, să mărim numărul remarcilor care, în primă aproximație, ar putea fi grupate în cadrul gîndirii cosmologice moderne sub titlul de „declinul materiei”, sau, mai exact, „declinul substanței”.

L-am văzut, de exemplu, pe Einstein eșuînd în încercarea sa de a da o expresie completă și definitivă principiului după care între existența masei-energiei și structura metrică a spațiu-timp-ului există o legătură cauzală necesară și suficientă, apoi l-am văzut pe de Sitter descoperind, spre surprinderea generală, că în teoria relativității Universul vid poate avea proprietăți dinamice. Am remarcat de asemenea că există un itinerar matematic indirect, sinuos și destul de îngust, dar totuși bine trasat care, pornind de la reforma einsteiniană a cosmologiei — efectuată, cum am văzut, după principii substanțialiste și în ipoteza unui Univers static — duce la ideea generării continue. Într-adevăr, prima cosmologie a lui Einstein se baza pe adăugarea termenului în Λ în ecuațiile cîmpului, dar, cu termenul în Λ , Universul lui de Sitter constituia o soluție care, pusă sub forma robertsoniană, nu mai era vidă, rămînînd totuși, dacă se admite generarea continuă, staționară.

Am constatat că sub efectul conjugat al progreselor teoretice și observaționale interesul s-a transferat, în cosmologie ca și în alte domenii, de la problemele masei la cele ale radiației. Milne a arătat, cu oarecare succes, cum poate fi impusă o viziune berkeleyană a Universului, în care logica realului se identifică din principiu cu cea a aparenței. Pentru astrofizicianul modern, oricît de materialist se vrea, este incontestabil că materia stelei se transformă în radiație și că, într-un anumit fel, ea se *dematerializează*. În

sfârșit, am văzut apărînd, cu mai puțin de douăzeci de ani în urmă, primele teorii în care generarea de materie-energie *ex nihilo* devine un fenomen fizic continuu, ceea ce privează materia-substanță de privilegiile sale antice și mai ales de perenitate.

Cu toate că aceste aspecte diferite ale declinului materiei nu au legături evidente între ele, creșterea numărului lor nu este desigur întîmplătoare. Ele reprezintă probabil expresia aceleiași transformări profunde a conceptelor și principiilor de bază ale filozofiei naturale.

Ceea ce ne propunem să arătăm acum este că conceptul de generare continuă — cu tot caracterul lui de presupunere — este totuși cea mai recentă dintre breșele făcute de gîndirea modernă în edificiul substanțialismului fizic și, în această privință, rezultatul unei evoluții foarte lungi, care depășește cu mult cadrul istoric și epistemologic al prezentei lucrări¹.

Opera unui mare filozof continuă să se îmbogățească mult timp după ce autorul ei a încetat să mai trăiască fizic. Istoria dezvăluie în ea un sens care exista fără ca totuși cineva să fi putut să-l sesizeze efectiv la început. Maurice Merleau-Ponty a spus tot ceea ce se poate spune cu privire la acest *impensé* al marilor filozofi. Putea fi oare înțeles cu adevărat, înainte de fizica relativistă, ceea ce Kant oferea efectiv gîndirii atunci cînd propunea ca cele trei „analogii ale experienței” — principiile substanței, cauzalității și acțiunii reciproce — să fie derivate din cele trei „moduri” ale timpului — permanența, succesiunea, simultaneitatea? Desigur că nu, pentru că teoria timpului dată de Kant ca evidentă aprioric este de fapt solidară cu mecanica newtoniană și cu toate postulatele acesteia, or tocmai aceste postulate trebuiau repuse în discuție pentru a apărea clar raportul între ideea de secvență temporală și cea de cauzalitate fizică.

În contextul kantian, mai ales, deducerea apriorică a principiului permanenței substanței, pe care însuși Kant îl asocia cu principiul conservării masei al lui Lavoisier, nu putea fi decît o confirmare pentru gîndirea fizică modernă în căutarea fundamentelor sale, în certitudinea ei că avînd la dispoziție conceptul de masă și principiul de conservare, dispune de un absolut la care puteau fi raportate întotdeauna în ultimă instanță descrierea și explicarea fenomenelor. Desigur, din punctul de vedere al lui Kant, aceasta nu are sens decît în măsura în care lumea fizică este considerată ca lume a fenomenelor, ceea ce înlătură orice privilegiu

¹ Teoria stării staționare fiind abandonată, considerentele care urmează și-au pierdut interesul original. — N.T.

ontologic acordat permanenței empirice față de succesiunea empirică. Atemporalitatea expresiei „Eu gîndesc” nu este tocmai cea a „durabilului”, iar permanența naturală are loc în timp. Totuși, în *Critica rațiunii pure* totul încuraja, în această privință, alungarea „realismului empiric” spre „realismul transcendent”. Într-adevăr, dacă principiul permanenței substanței dă loc unui paralogism, aceasta se datorește faptului că acest principiu este aplicat sufletului și nu naturii. Dimpotrivă, aplicarea sa la lumea fizică este atît de legitimă încît el servește ca principiu pentru „respingerea idealismului”. În același timp în care golea noțiunea de cauzalitate de orice semnificație ontologică, Kant contribuia la consolidarea substanțialismului masei și al inerției sub imperiul căruia fizica își lua avînt.

Este adevărat că o privire retrospectivă poate scoate în evidență faptul că dezagregarea principiului substanței începe de vreme și că încă în cursul secolului trecut apăreau numeroase semne, fără îndoială mai vizibile pentru noi decît pentru contemporanii lor. Formula explicită a principiului conservării energiei, atît de dificil de găsit, evidențiază o formă pur numărabilă, nesubstanțială a permanenței, iar expresia (încă și mai dificilă) a unui principiu complementar de degradare face să reiasă deosebirea dintre permanența ontologică și permanența măsurabilă.

Paralel apare și noțiunea de cîmp, cu ambiguitățile sale, datorate mai ales separării formalismului matematic folosit pentru descrierea fenomenelor ondulatorii de reprezentarea substratului lor material, ajungîndu-se pînă la urmă ca *eterul* să fie lipsit de orice proprietate fizică verosimilă. Teoria relativității restrînsă a accentuat și mai mult declinul substanțialismului, dînd întîietate epistemologică celei mai puțin substanțialiste dintre teoriile fundamentale, adică teoriei electromagnetismului, și extinzînd chiar și asupra masei definiția energetică, măsurabilă a permanenței.

Triumful atomismului poate fi desigur considerat ca o reîntoarcere victorioasă a materialismului substanței masive. Aceasta nu este însă decît o iluzie, căci întreaga dezvoltare a microfizicii experimentale și teoretice va demonstra totala inadecvare a intuițiilor substanțialiste la nivelul atomilor. Formalismul ondulatoriu, care gonise eterul, sfîrșea prin a priva materia de trăsăturile sale cele mai caracteristice în aparență, cea de extensiune, de localizare, de impenetrabilitate. În același timp, fizica experimentală dovedea că există transformări în care masa este preschimbată în energie — și reciproc — dar că materializarea energiei este un fenomen mult mai rar decît fenomenul invers și, în consecință,

că simetria de calcul a faimoasei ecuații a lui Einstein, $E = mc^2$, capătă o asimetrie esențială.

Știință a observației directe, obișnuită de multă vreme să-și caute adevărul mai curînd în ordonarea aparențelor decît în descrierea lucrurilor „așa cum sînt”, astronomia a avut întotdeauna motivele sale proprii de a prefera lumina — pentru ea o dată imediată — materiei — presupunere îndepărtată. Totuși, la începutul secolului al XIX-lea fenomenalismul său tradițional părea definitiv înăbușit de suita de succese ale dinamicii. De acum înainte aștrii erau mai bine înțeleși ca centri de inerție și de atracție gravitațională decît ca surse de lumină. Descoperirile lui Fraunhofer, cu toate că conțineau întreg viitorul îndepărtat al astrofizicii, nu au cunoscut succesul public de care s-a bucurat nebuloasa lui Laplace și, mai tîrziu, pendulul lui Foucault sau descoperirea matematică a „perturbatorului” invizibil al planetei Uranus.

Dar în secolul al XX-lea mecanica cerească a încetat să mai domnească în astronomie, lumina reluîndu-și toate drepturile. Nu este deci de mirare că tocmai în cosmologie s-a schițat o repunere în discuție a principiilor substanțialismului, odată cu ipoteza generării continue de materie-energie. Ceea ce mai avea substanțial în el principiul de conservare este la rîndul său antrenat în devenire.

După cît se pare, primele sugestii în acest sens sînt datorate lui Jeans, urmat la scurt timp de Milne. Jeans, a cărui operă științifică este preludiul întregii cosmogonii moderne, a fost marele crainic al dematerializării, într-o epocă în care probele experimentale nu erau încă destul de puternice pentru a învinge prejudecățile substanțialiste. În plus — cel puțin într-un pasaj, pe drept cuvînt celebru și deseori citat, destul de neașteptat în contextul în care se află, în care este vorba de forma spirală a galaxiilor — Jeans a sugerat că din centrul spiralelor ar putea fi injectată în mod continuu în spațiu materie nouă¹. În textul lui Jeans nu este deci încă vorba de generare *ex nihilo*, pentru că materia-energia este transferată într-un anumit fel dintr-o regiune inaccesibilă a Universului în cea pe care o cunoaștem.

¹ „Presupunerea la care sîntem conduși oarecum insistent este aceea că centrele nebuloaselor sînt de natura „punctelor singulare”, unde materia este aruncată în Universul nostru, pornind de la o altă dimensiune spațială, în întregime exterioară, astfel încît pentru locuitorii Universului nostru, ele apar ca puncte în care materia este creată în mod continuu” (*Astronomy and Cosmogony*, Cambridge, 1928, p. 352). Odată cu descoperirea recentă că adevăratele nuclee ale spiralelor apropiate sînt condensări extrem de mici, de dense și de strălucitoare și care pot exploda, presupunerea lui Jeans recapătă o anumită actualitate.

În ceea ce-l privește pe Milne, el vorbește despre generarea continuă într-un mod destul de deosebit de cel al lui Jeans. Este într-adevăr o ipoteză de care se teme. El se teme chiar atât de mult încît a eliminat aprioric orice model de univers care ar părea că o admite și a fost primul care a sesizat această aparență în anumite modele ale cosmologiei lui Friedman, pe care Einstein o explicita în acea perioadă¹. Atît Jeans, cît și Milne aveau deci în vedere aparența generării continue — unul pîrînd că o dorește, celălalt eliminînd-o deliberat — și nu realitatea ei.

Dar cîtiva ani mai tîrziu generarea reală de materie-energie, *ex nihilo*, avea să fie presupusă în condițiile despre care am vorbit — sugerată de Dirac, afirmată deschis de Jordan, apoi de Bondi, Gold și Hoyle. Ceea ce trebuie subliniat o dată în plus este că în aceste teorii cosmologice generarea continuă este prezentată nu ca o veritabilă ruptură cu principiile tradiționale de conservare ale fizicii, ci mai curînd ca o îmbunătățire sau o generalizare a acestor principii.

La Jordan, generarea unor „picături” de materie, care pentru noi ia aspectul supernovelor, lasă intact bilanțul energetic al Universului, generarea masei fiind compensată din punct de vedere contabil de generarea unei energii potențiale gravitaționale, care trebuie socotită negativă². În teoria stării staționare energia se conservă, într-un anumit sens, cu toată apariția continuă de noi protoni și electroni, pentru că densitatea rămîne constantă în unitatea de volum propriu al fiecărui observator fundamental³.

Se observă deci la acești autori diferiți dorința de a nu rupe continuitatea progreselor fizicii și de a-și insera ideile în prelungirea, dacă nu în cadrul științei moștenite. Faptul că ei reușesc în încercarea lor fără a ajunge la absurdități face să stîrnească impresia că sîntem poate pe cale de a depăși o ultimă etapă pe drumul declinului substanței și că generarea continuă prelungește pur și simplu o dezvoltare lentă a gîndirii raționale despre natură.

Trebuie totuși să recunoaștem elementul esențialmente nou adus de această idee. Identificarea masei și a energiei nu au o legătură directă cu aspectul evolutiv al Universului, cel puțin în aparență, pentru că asimetria dintre cei doi termeni este ascunsă de egalitatea măsurabilă. Dimpotrivă, generarea este legată direct de ireversibilitatea devenirii cosmice, fie că ea compensează de-

¹ *Relativity, Gravitation and World Structure, op. cit.*, § 470, p. 325, § 476, p. 327, § 493, p. 335. Vezi Anexa, VI, p. 466.

² Anexa, X, ec. 152.

³ Anexa, IV, ec. 66.

materializarea stelară, fie că anulează efectele expansiunii cosmice. De aceea ea atinge mai profund ontologia care stă la baza fizicii.

Rezultă o anumită inversare a valorilor tradiționale, care trebuie menționată în trecere. Lumina se bucura de un vechi privilegiu, fiind considerată un mesager impalpabil al spiritului, infinit de rapid chiar după Descartes, fără greutate și fără încetare. Din punct de vedere termodinamic, dimpotrivă, lumina este produsul ultim al declinului energiei și în teoriile noi materia tină trebuie să apară sub formă de masă, căci masa face parte dintre energiile „nobile”, cu entropie mică.

II. Două teme cosmogonice: condensarea și explozia

Gravitația universală, forță atractivă, a fost prima dintre forțele fizice a cărei teorie a căpătat o formă matematică verificabilă experimental. Era deci natural ca ea să servească drept bază pentru cosmogoniile moderne, primele care, după celebrele cuvinte ale lui Laplace adresate lui Bonaparte, nu aveau nevoie de ipoteza existenței lui Dumnezeu. Totuși, o veche tradiție atașa mișcării de creare a lumii sensul unui proces de trecere de la unic la multiplu, al unei fragmentări a unității originare. Aceasta este o imagine prea arhaică pentru a putea fi ștearsă de vreo achiziție, chiar decisivă, a cunoașterii raționale a naturii: nu este oare nașterea o smulgere? Buffon dorise chiar să se servească de gravitație pentru a explica cum au putut planetele fiice să se detașeze de corpul Soarelui. Dar „factorul perturbator” pe care îl imagina el, o cometă, nu putea să aibă decît o acțiune derizorie și cercetările contemporanilor acordau puține șanse ipotezei Soarelui fragmentat. Ipoteza condensării a lui Laplace suportă mai bine, cel puțin în ceea ce privește sistemul solar, confruntarea cu calculul, cu toate că și teoria nebuloasei solare se lovește de mari dificultăți.

Cu toate acestea, transformată, dar revitalizată prin confirmarea antitetică a celor doi termeni ai săi, opoziția dintre cosmogonia condensării și cosmogonia fragmentării și exploziei divizează încă spiritele și polarizează imaginațiile. Nu încapе îndoială că avem de-a face cu două imagini *valorificate* și investite cu valori diferite, ba chiar contrare. Adevărat sau legendar, răspunsul dat de Laplace lui Bonaparte nu este legat întîmplător de cosmogonia nebuloasei. Într-adevăr, odată risipită confuzia cartezienilor, care asociau gravitația unei forțe oculte, odată înțeles faptul că legea

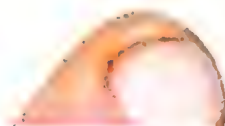
lui Newton exprimă o interacțiune care particularizează legile mai generale ale mecanicii — și nu dragostea materiei pentru ea însăși — atracția universală pare a fi cheia care permite să se înțeleagă cum se poate ordona lumea de la sine, fără intervenția nici unui demiurg sau a vreunui impuls inițial.

Dacă cosmogonia condensării este încă de la începuturile ei de inspirație raționalistă, imaginea explozivă este, dimpotrivă, mai tulbură și mai tulburătoare. Ea evocă o ontologie dramatică, implicând ruptura, disocierea, degradarea. Ea evocă de asemenea discontinuitatea logică, hazardul, acumularea inexplicabilă a unor condiții excepționale și improbabile. Mai empiristă și mai agnostică, ea deschide calea tuturor formelor de transcendență.

Or, ca rezultat al unei dezvoltări destul de paradoxale, cele două imagini contrare, cea a condensării și cea a exploziei, au fost fiecare consolidate de progresul cunoștințelor. Astăzi se admite în general faptul că condensarea norilor cosmici joacă rolul principal în formarea stelelor, cu toate că lipsesc încă probele decisive, starea de tranziție nefiind încă observată direct. S-au făcut totuși foarte multe presupuneri și în prezent puțini astronomi se îndoiesc de faptul că multe dintre stelele gigante și albastre din vecinătatea noastră cosmică nu s-ar fi format recent — la scara timpului geologic — prin condensarea gazului și a „pulberilor” răspândite în spiralele Galaxiei.

Dar alte observații, nu mai puțin sigure, arată în egală măsură că și procesele violente și explozive, a căror durată fulgerător de scurtă se află într-un contrast vizibil cu scurgerea lentă a fenomenelor de condensare, sînt lucru curent în Univers. Supernovele, evenimente rare la scara timpului uman, dar observate totuși din momentul în care privirea a putut atinge galaxiile exterioare, sînt desigur rezultatul unor explozii stelare ale căror cauze și modalități de desfășurare nu sînt cunoscute prea bine pînă acum, dar al căror caracter brusc și proporții gigantice sînt evidente. În cîteva ore explodează, într-o dezlănțuire de lumină, o structură căreia i-au trebuit milioane de ani pentru a se forma.

Intensitatea extraordinară a anumitor surse radio îi făcea de multă vreme pe partizanii cosmogoniei explozive să se gîndească că s-ar putea produce explozii încă mai grandioase decît cele ale supernovelor. Această presupunere este într-adevăr confirmată în mod remarcabil de unele observații recente. Mai întîi, prin „nucleu” trebuie să se înțeleagă nu marele bulb luminos vizibil pe numeroase fotografii ale spiralelor, ci o mică condensare centrală, extrem de strălucitoare, care cu ajutorul tehnicilor contemporane ale fotografiei astronomice poate fi pusă în evidență pe imaginile



anumitor spirale apropiate -- și a cărei existență în Galaxie este atestată de radioastronomie. Or, observarea atentă a nebuloasei spirale M.82, clasată de mult timp ca anormală, a confirmat faptul că nucleul acestei galaxii explodează și că cele aproximativ cinci milioane de stele pe care le-ar putea conține sînt proiectate în spațiul înconjurător, probabil în urma exploziei în lanț a unui anumit număr dintre ele.

În ceea ce privește problema evoluției Universului, care le domină pe toate celelalte, fuga nebuloaselor sugerează mai curînd o origine explozivă. Nu este deci de mirare că primele încercări moderne de cosmogonie integrală, „atomul primitiv” al lui Lemaitre și *ylem*-ul lui Gamow, au fost de gen exploziv, bazîndu-se și una și cealaltă pe modelele relativiste robertsoniene, care admit o origine singulară. Dar, și într-un caz și în celălalt, a trebuit să se facă apel, într-un mod mai mult sau mai puțin fericit, la condensarea prin gravitație pentru a se explica nu numai formarea stelelor, dar și a galaxiilor și a roiurilor de galaxii.

Dificultățile care rezultă de aici, mai ales în teoria lui Gamow, scot în evidență faptul că dacă dorim să ne reprezentăm destinul Universului în ansamblul său, concilierea celor două procese contrarii nu este atît de ușor de imaginat, cu toate că, „local”, succesiunea, juxtapunerea sau alternanța transformărilor de tip opus sînt perfect imaginabile. S-ar putea, de exemplu, ca în fenomenul de supernovă catastrofa să fie precedată și determinată de o condensare extrem de rapidă, o adevărată „implozie” a părții centrale a stelei : regiunile mai puțin profunde, mai puțin avansate în ciclul transformărilor nucleare ar fi aduse dintr-o dată, prin această contracție bruscă, la temperaturile enorme din centru și ar exploda.

Oricum ar fi, se poate observa că imaginea cosmogonică explozivă a exercitat un fel de fascinație asupra spiritelor îndrăznețe și aceasta independent de poziția lor față de problemele ultime ale cosmogoniei. Nu numai Lemaitre, Gamow sau Jordan și-au găsit în această imagine una din sursele de inspirație, dar ea domină de asemenea gîndirea cosmogonică a lui Ambartsumian.

Este adevărat că și condensarea își are aventurierii ei, dar este vorba mai curînd de o aventură a rațiunii : autorii teoriei stării staționare, cu toate că acordă un rol important în sistemul lor cosmogonic catastrofelor locale — exploziile de supernovă putînd realiza, după părerea lor, toate condițiile necesare genezei atomilor grei — atribuie totuși condensării rolul cosmogonic primordial. Hidrogenul care ia naștere este, în teoria lor, împrăștiat în spațiu ; din imensul nor cosmic, reînnoit indefinit prin

generare continuă, trebuie să se formeze nu numai stelele, dar și galaxiile și roiurile de galaxii.

Modelele de univers în care materia se conservă în sens clasic sînt amenințate, din cauza expansiunii, de o dispersare prea rapidă și iremediabilă. În aceste modele, geneza prin condensare a unor structuri mari, destul de compacte pentru a fi stabile în raport cu expansiunea, nu poate avea loc decît în condiții momentane și precare. Datorită reînnoirii indefinite a materiei primare difuze, teoria stării staționare face mai bine față acestei dificultăți. De altfel, apare imediat o altă dificultate. Din momentul în care s-a format o condensare mare de materie, ea trebuie să se îmbogățească indefinit cu materia nouă care se formează în interiorul și în vecinătatea sa. Este deci îndoielnică existența unei limite superioare a masei sau a luminozității sale, pentru că în interiorul condensării materia difuză este destinată transformării în stele. Deoarece timpul este infinit, ar trebui deci să existe în Univers condensări de masă și de luminozitate oricît de mari. Cum se explică atunci că luminozitatea galaxiilor observate este de fapt mărginită¹? Ar trebui să intervină mecanisme de fragmentare analoage celor care împiedică în fapt, cel puțin după cîte se pare, ca condensările stelare să depășească anumite limite. Altfel spus, este poate inevitabil să se recurgă din nou la vreo formă de dispersare sau de explozie.

Astfel, antiteza dintre condensare și explozie, opunînd scheme rivale ale imaginației, este în același timp destul de profund implicată în datele problemei cosmogonice, așa cum este aceasta plasată, cel puțin la scară mare, sub semnul dublu al expansiunii și al gravitației. Această antiteză nu duce desigur la o dialectică la fel de ineluctabilă și de iritantă ca cea a originii. Ea îi definește totuși unul din aspecte și este destul de strîns legată de datele actuale ale problemei cosmologice pentru ca toate teoriile sintetice să ajungă la ea mai devreme sau mai tîrziu.

Teoriile cosmogonice moderne trebuie să răspundă în întregime sau parțial la un anumit număr de întrebări, pe care este util să le enumerăm în mod explicit. În esență, ele sînt următoarele :

— Geneza elementelor atomice pornind de la hidrogen, în așa fel încît să explice abundența lor relativă în vecinătatea cosmică a Pămîntului ;

— Geneza stelelor, a grupurilor de stele, a sistemelor planetare ;

— Geneza galaxiilor și a roiurilor de galaxii.

¹ G. J. WHITROW, *The Structure and Evolution of the Universe*, New York: Harper's, 1959, pp. 142—148.



În stadiul actual în care se găsește astrofizica, se poate spune că cel de-al doilea grup de probleme este cel care dă naștere ipotezelor celor mai sigure și mai precise și că ultimul este cel care ridică cele mai mari dificultăți, mai întâi datorită amplitudinii și distanței sistemelor respective, datorită ignoranței aproape totale care încă domnește în ceea ce privește materia intergalactică, ca și datorită unei cunoașteri imperfecte a tuturor elementelor importante ale structurii galaxiilor. Faptul că ne găsim în interiorul uneia dintre ele nu ușurează întotdeauna explorarea, cât despre celelalte, ele sînt foarte departe. În plus, antiteza dintre condensare și dispersare este deosebit de acută în acest caz : condensarea unei galaxii nu poate avea loc decît pornind de la un „nor” care are o întindere extrem de mare, așa încît se fac simțite efectele expansiunii cosmice care nu pot fi anulate numai de gravitație. Fără îndoială că intervin și fenomene electromagnetice, dar știm atît de puțin despre ele încît este dificil să li se atribuie un rol definit în procesul genetic.

Cît despre sinteza elementelor, există două concepții opuse : una care vede în aceasta un fenomen de ansamblu, legat de o stare excepțională a materiei în Univers, poate de o singularitate a istoriei cosmice, cealaltă un proces continuu rezultînd din evoluția internă a stelelor. La ora actuală se pare că majoritatea specialiștilor înclină net spre cea de-a doua ipoteză.

B. Teorii cosmogonice

I. Cosmogonia lui Lemaître

Am vorbit de mai multe ori, într-un capitol precedent, despre opera lui Lemaître, mai întâi pentru a menționa contribuția sa la descoperirea Universului relativist nestatic, apoi pentru a defini contextul filozofic în care se situează această operă. Făcînd aceasta, am amînat totuși prezentarea teoriilor cosmogonice care i-au asigurat notorietatea în marele public și de care ne vom ocupa acum. Acest mod de a proceda poate părea artificial : dacă citim scrierile lui Lemaître de după 1931, oricare ar fi gradul lor de formalizare, vedem că problemele structurii și problemele genezei sînt strîns legate, astfel încît preocuparea de a construi o cosmogonie coerentă este predominantă. Dar dacă urmărim cu atenție dezvoltarea gîndirii lui Lemaître, constatăm că el a ajuns la discutarea problemei genezei meditînd asupra problemei structurii,

cu alte cuvinte că cosmologia l-a condus la cosmogonie. Într-un anume sens — și tocmai acesta este sensul în care evoluția sa este semnificativă — Lemaître a fost condus de logica internă a conceptelor cosmologiei relativiste, care impunea considerarea din punctul de vedere al timpului nu numai a conținutului Cosmosului, dar și a structurii sale geometrice.

Ecuatiei lui Friedman, pe care o redescoperise, Lemaître i-a dat mai întâi o soluție cunoscută acum sub numele de modelul Lemaître-Eddington¹, un Univers de tip Einstein, închis, eliptic (Lemaître a preferat întotdeauna varianta eliptică variantei sferice²), a cărei expansiune indefinită și indefinit accelerată a început la infinit în trecut. Valoarea lui Λ este cea care definește Universul static al lui Einstein. Raza inițială a Universului lui Lemaître este legată de constanta cosmologică prin relația dată în *Kosmologische Betrachtungen*.

Eddington a demonstrat în 1930, în condițiile de care am vorbit, că de fapt, din momentul în care este admisă posibilitatea unei variații a metricii în timp, Universul lui Einstein apare într-o stare de echilibru instabil, stare pe care orice perturbație o poate distruge, provocând fie expansiunea, fie contracția³. Dar de ce neapărat expansiunea și nu contracția? Și care este exact tipul de perturbație în stare să provoace transformarea modelului static al lui Einstein într-un model în expansiune, de tip Lemaître-Eddington? Aceasta este forma sub care i s-a prezentat la început lui Lemaître problema cosmogonică. Am vorbit despre preferința sa pentru imaginile concrete, despre interpretarea realistă pe care el a dat-o constantei cosmologice ca fiind răspunzătoare de „repulsia cosmică”. Aceasta l-a condus în mod natural la încercarea de a căuta în jocul local al forțelor opuse de atracție gravitațională și de repulsie cosmică cauza mobilizării structurii einsteiniene a Universului. Dar problema este departe de a fi simplă. Ideea care se naște dintr-o dată — și Lemaître nu este singurul care a formulat-o — este aceea că mișcarea generală ar fi putut fi declanșată printr-o ruptură accidentală a uniformității cosmice, rezultată din formarea unei condensări locale sub efectul gravitației. Din păcate, calculul nu confirmă net această ipoteză plauzibilă: într-un Univers static de tip Einstein, o condensare locală poate la fel de bine să provoace, după împrejurări, fie o contracție, fie o expansiune generală.

¹ Vezi Anexa, VI, p. 468.

² Vezi Anexa, IV, ec. 43, nota 1.

³ Vezi Anexa, VI, A, 2.



Îmbunătățindu-și ipotezele, Lemaitre ajunge la unele rezultate mai încurajatoare : nu condensarea în sine ar provoca expansiunea, ci un proces consecutiv, „stagnarea”¹. Condensarea deja formată ar absorbi energie cinetică, de unde diminuarea presiunii în vecinătate și, pînă la urmă, expansiunea. Cu toate că din punct de vedere matematic această argumentare era foarte îngrijită, ea a fost aspru criticată ca bazindu-se pe ipoteze arbitrare. Ea se lovește în orice caz de o dificultate care apare dealtfel în orice cosmogonie globală : ceea ce observăm la scară foarte mare este, în același timp, o mișcare generală de expansiune, care dispersează materia, și condensări locale de toate mărimile—stele, galaxii și roiuri de galaxii. Ar trebui deci ea, pornind de la starea de echilibru a lui Einstein, materia cosmică să fi evoluat în același timp în ambele sensuri, expansiunea și condensarea.

Pe de altă parte, forma expansiunii în modelul Lemaitre-Eddington nu este prea satisfăcătoare din punct de vedere cosmogonic, după cum a remarcat însuși Eddington : teoretic, starea de echilibru este atinsă asimptotic la infinit, mergînd spre trecut, dar curba reprezentînd pe R în funcție de t^2 are forma unei exponențiale în ramura ei asimptotică și, la o distanță foarte mică în trecut, curba coincide practic cu o dreaptă paralelă cu axa timpului. Cu alte cuvinte, procesele cosmice efective nu au putut să înceapă decît recent sau, mai mult, Universul a trebuit să rămînă, în evasiinfinitatea timpului, într-o stare infinit apropiată de echilibrul totuși instabil al Universului einsteinian. Deși atunci cînd ne referim la materie limitele verosimilului sînt dificil de trasat, nu se poate totuși spune că imaginea cosmogonică astfel obținută ar fi prea convingătoare.

Cît despre Eddington, el nu a mers niciodată mai departe în sensul cosmologiei. Cu toate că a fost convins că trecerea timpului este o caracteristică intrinsecă naturii, dincolo de toate atributele metrice și conceptuale pe care știința umană le proiectează asupra lumii fizice, el s-a interesat mult mai puțin de problemele genezei decît de problemele structurii (poate că el considera că numai ultimele aparțin domeniului fizicii, așa cum o concepea el). Pentru a reprezenta *uranoidul*, adică *continuum*-ul metric necesar descrierii fenomenelor fizice, i-a fost suficient întotdeauna modelul Lemaitre-Eddington.

Lemaitre, în schimb, și-a concentrat din ce în ce mai mult atenția asupra problemei cosmogonice, dovedindu-se poate în

¹ *The Expanding Universe*, M.N.R.A.S., 9, 1931, pp. 490—501.

² Anexa, fig. V.

această privință mai fidel spiritului cosmologiei relativiste decât Eddington. În cursul unui colocviu asupra evoluției Universului, în 1931¹, Lemaître a schițat pentru prima dată noua sa cosmogonie, cunoscută sub numele de „teoria atomului primitiv”. Mai multe căi converg spre ea. Combinarea expansiunii cosmice cu condensările locale este înțeleasă mai bine, după Lemaître, dacă se consideră că Universul a *traversat* starea de echilibru în loc să *plece* de la ea. Nu mai este vorba de a căuta cauza unei expansiuni care va fi prelungirea unui fenomen inițial, început într-o stare singulară de extremă condensare a materiei-energiei, într-o ipotetică ruptură a echilibrului. Or, Lemaître, ca și Eddington, ca toate spiritele îndrăznețe ale timpului său și ca toți cei pe care îi seducea perspectiva unei schimbări complete a decorului epistemic și ontologic al științei pozitive, voia să folosească ideile teoretice noi ale fizicii cuantice și presupunerile bazate pe avântul fizicii nucleare, care intra atunci într-o fază decisivă a dezvoltării sale. Primele îl conduceau la o nouă semnificație a evoluției termodinamice. Degradarea energiei îi apărea ca avînd sensul unei pulverizări în cuante din ce în ce mai numeroase și din ce în ce mai mici, luate individual. Pe de altă parte, posibilitatea transmutațiilor nucleare, stabilind o continuitate virtuală între toți atomii existenți în Cosmos, îi sugera că lanțul putea sau ar fi putut să se continue dincolo de elementele cele mai grele. Astfel a luat naștere ideea „atomului primitiv”, cu caracterele sale distincte de orice altă structură materială, structură nucleară unică care concentrează toată masa Universului într-un singur nucleu atomic, structură energetică definită de un *quantum* unic, care condensează energia cosmică la nivelul său cel mai înalt. Astfel, cosmogoniei „lente”, cosmogoniei laplaciene de condensare care „are loc de la difuz la condensat”, i se substituia sau mai curînd i se suprapunea cosmogonia „rapidă”, cosmogonia de desfășurare și de explozie, care merge „de la simplu la complex” și de la o energie nobilă-la o energie degradată.

Din punct de vedere geometric, prezența în cea mai mare parte a universurilor relativiste în expansiune a unei stări singulare (modelul Lemaître-Eddington este unul din puținele modele care evită o astfel de singularitate), caracterizată — oricare ar fi topologia spațiului — printr-o extremă condensare a materiei-energiei, reprezenta prin ea însăși o încurajare pentru a se concepe o teorie de acest fel. Dar unui realist cum este Lemaître îi trebuiau indicii fizice, urme tangibile, dacă se poate spune așa, ale singularității.

¹ P. COUDERC, *Discussions sur l'évolution de l'Univers*, Gauthier-Villars, 1933.

El le găsește în radiațiile cosmice; izotropia acestor radiații părea să-i sugereze în mod natural imaginea unor particule parcurgând cercuri mari ale hipersferei einsteiniene și efectuând „înconjurul lumii”, cel puțin atât timp cât ritmul expansiunii nu face imposibilă reîntoarcerea. Dar enorma energie individuală a radiațiilor cosmice primare a fost cea care i-a părut lui Lemaître indicația cea mai sigură a originii lor. Într-adevăr, el nu putea concepe că radiații cu astfel de energie ar putea lua naștere în altă parte decât în stele. Dar dacă proveneau din stele, cum puteau ele traversa atmosferele stelare fără a-și pierde energia? Rezulta deci că erau anterioare stelelor. Pe de altă parte, presupunând că densitatea radiațiilor cosmice este uniformă în tot Universul, Lemaître găsește că energia cinetică a acestora reprezintă o proporție slabă desigur, dar nu neglijabilă din totalitatea materiei-energiei cosmice (a suta mia parte cel puțin, poate chiar a mia parte), astfel încât trebuie să se țină seama de pierderea de energie rezultată din expansiune. Această relație importantă dintre energia purtată de radiațiile cosmice și energia condensată în masă dovedește, după Lemaître, că este vorba de un fenomen de mare anvergură, interesând Universul în întregime¹. Radiațiile cosmice ar fi astfel vestigiile primei faze, explozive, a istoriei cosmice, în timpul căreia materia ar fi fost identificabilă cu un fascicul de radiații cosmice. Mai târziu Lemaître și-a schimbat într-o oarecare măsură concepțiile privind radiațiile cosmice, dar nu a renunțat să le considere ca urme ale exploziei inițiale. Atunci când la Congresul Solvay din 1958 Ambartsumian l-a întrebat dacă consideră că ar exista două feluri de radiații cosmice, unele de formație recentă (a căror existență nu mai este pusă la îndoială) și vestigiile, Lemaître a răspuns afirmativ.

Pe lângă acest indiciu major, există și alte urme ale dezintegrării atomului primitiv. Lemaître citează existența elementelor grele, a căror formare în Universul actual pare foarte problematică, sau supraviețuirea elementelor radioactive ca uraniul, efecte care i se par că nu pot fi explicate altfel.

Odată admis că radiațiile cosmice sînt cheia cosmogoniei, sînt stabilite trăsăturile mari ale istoriei Universului. Geometria este definită prin alegerea unei soluții a ecuației lui Friedman care diferă foarte puțin de modelul Lemaître-Eddington. Este suficient ca constanta cosmologică, în loc să fie exact egală cu valoarea de echilibru, să fie puțin mai mare. În acest caz, graficul funcției $R(t)$,

¹ *L'Hypothèse de l'atome primitif, op. cit.*, pp. 87—89.

în loc să fie asimptotic cu dreapta $R = R_e$, reprezentativă pentru modelul static al lui Einstein, traversează această dreaptă și prezintă o inflexiune pentru $R = R_e$. Expansiunea începe în punctul singular $R = 0$, cu o viteză infinită. Ritmul expansiunii crește, apoi se anulează pentru $R = R_e$. Universul traversează starea de echilibru a lui Einstein, în care repulsia cosmică și gravitația se egalează. Se produc condensări locale, dar starea de echilibru sfârșește prin a fi depășită, expansiunea reîncepe accelerându-se de astă dată, căci fragmentele condensate se îndepărtează unele de altele și acțiunea gravitației dintre ele scade. Este starea actuală, în care derivata funcției $R(t)$ este crescătoare. Rezultă că inversul constantei lui Hubble $\frac{R}{\dot{R}}$, subtangenta, este o limită inferioară

pentru vîrsta Universului, adică intervalul care ne separă de originea singulară¹. Din punct de vedere geometric, trecerea la starea de echilibru poate fi arbitrar de lungă, dar durata sa efectivă este limitată de rațiuni fizice. Lemaître nu dă nici o indicație numerică în ceea ce privește durata primei faze, situată între origine și punctul de inflexiune, dar el consideră că ansamblul proceselor cosmice nu a putut dura mai mult de cîteva zeci de miliarde de ani (douăzeci pînă la șaiszeci, după ultimele sale estimări). Numai patru miliarde de ani ne-ar separa de momentul reluării expansiunii. Raza actuală ar fi de zece ori mai mare decît raza de echilibru, iar densitatea de o mie de ori mai mică.

Celor trei părți ale curbei le corespund trei faze ale istoriei cosmice. Adevăratul început, reprezentat geometric prin punctul de origine, nu poate fi descris de fizică; el se situează „înainte oricărei fizici”. Într-adevăr, această știință nu poate să descrie nimic în afara spațiului și a timpului, iar multiplicitatea spațio-temporală este ea însăși un rezultat al trecerii de la unu la multiplu, care caracterizează Universul în formare; semnificația fizică a Universului se naște deci odată cu Universul. Din punct de vedere fizic, primele momente ale vieții cosmice sînt totuși comparabile cu o explozie gigantică, cu un imens foc de artificii. Există în cosmogonia lui Lemaître un aspect vizionar :

„Evoluția lumii poate fi comparată cu un foc de artificii care tocmai se termină; cîteva şuvițe roșii, cenușă și fum. În picioare, pe o bucățică de jar mai bine răcită, vedem stingerea lentă a soriilor și încercăm să reconstituim strălucirea dispărută a formării lumilor².”

¹ Pentru a urmări mai bine descrierea precedentă, vezi Anexa, VI, C, 3; fig. VI.

² *L'Hypothèse de l'atome primitif*, op. cit., p. 90.

Cu toate că „atomul primitiv” nu este la drept vorbind un obiect fizic, pentru că fizica nu poate descrie decît dezagregarea sa (în ordine cronologică, aceasta este prima reprezentare concretă a *singularității* inițiale), un ordin de mărime al dimensiunilor sale se poate evalua presupunînd cele 10^{54} grame ale Universului lui Einstein adunate în particule nucleare aflate în contact. Aceasta dă o sferă cu raza egală cu distanța de la Pămînt la Soare. Universul era atunci un fascicul de radiații cosmice din care nu au mai rămas decît cîteva eșantioane.

Acestea fiind admise, prima problemă cosmogonică constă în a ști cum, dintr-o stare a materiei atît de diferită de ceea ce observăm astăzi, se pot naște structuri cît de cît comparabile cu cele pe care astronomia și fizica ni le-au făcut cunoscute. Lemaitre nu a dat niciodată explicații complete asupra acestui punct. Între condensarea explozivă de la origine și condensările relativ stabile pe care le observăm astăzi a trebuit să existe o stare intermediară difuză. În primele expuneri ale teoriei sale, Lemaitre pare să fi avut cel puțin în vedere ipoteza după care unele dintre structurile astăzi condensate ar fi putut să provină direct din atomul primitiv; el vorbește de „steaua-atom”, de „Soarele-atom”, succedînd „Universului-atom”. El se întreabă chiar: „A fost oare Pămîntul expulzat în stare atomică de către Soarele-atom?” Dar el nu s-a oprit la această ipoteză, arătînd mai tîrziu că nebuloasele și stelele rezultă dintr-un proces de recondensare a fragmentelor dispersate ale atomului primitiv. Cosmogonia „lentă” succede cosmogoniei „explozive”.

Din fasciculul divergent de radiații corpusculare trebuie să se obțină mai întîi un fel de gaz. Aceasta presupune stabilirea unei anumite regularități în distribuția vitezelor relative ale corpusculilor. Expansiunea are loc după o lege precisă: viteza proprie a corpusculilor în raport cu reperul local de repaus scade ca $\frac{1}{R}$

(R fiind raza spațiului). Local, după un anumit timp vitezele relative ale particulelor vor deveni suficient de moderate pentru a nu mai da naștere decît la ciocniri elastice, fără fenomene nucleare sau emisie de radiații; grupările de particule vor căpăta astfel proprietățile unui gaz¹. Acestei explicații pur cinematice a egalizării vitezelor și a formării norilor gazoși, Lemaitre i-a adăugat mai tîrziu, în conformitate cu progresele astrofizicii în domeniul materiei interstelare, o explicație fizică: corpusculii inițiali sînt electrizați, mișcările lor creînd cîmpuri magnetice mobile care vor

¹ *L'Hypothèse de l'atome primitif, op. cit., p. 156.*

capta corpuseculii cu viteză relativă mică, contribuind la formarea condensărilor¹. Poate că aceste condensări ar fi capabile în plus să provoace transformarea energiei cinetice a anumitor particule în masă. (Lemaître constată că, dacă radiațiile cosmice actuale, în ipoteza unei repartiții cosmice uniforme, conțin în energie o parte semnificativă din materia-energia Universului, în schimb masa lor nu constituie decât o fracțiune cu totul neglijabilă și această constatare crează evident dificultăți teoriei sale.) Astfel se încheie, în orice caz, prima fază cosmogonică. Energia radiațiilor inițiale este în medie destul de micșorată, iar materia destul de diluată pentru ca reacțiile nucleare să devină rare. O parte a materiei este condensată în nori gazoși, restul continuând să parcurgă spațiul în toate sensurile sub formă de radiații cosmice, cu șanse slabe de a fi absorbite. Expansiunea s-a încetinit atât de mult încât acțiunea sa este aproape echilibrată de gravitație. Pentru un timp desigur lung, Universul se va afla într-o stare apropiată de cea a Universului static al lui Einstein.

În timpul acestei a doua faze cosmogonice, pornind de la norii cosmici se vor forma stelele, galaxiile, roiurile de galaxii. Se revine deci la problemele mult mai clasice, dar foarte mult studiate în epoca contemporană, ale cosmogoniei laplaceiene. Pentru Lemaître, esențial este că echilibrul Universului lui Einstein nu exclude neregularitățile locale. Expansiunii globale, cvasinulă în tot timpul acestei perioade, i se vor adăuga deci mișcări locale de condensare în regiunile în care densitatea reală depășește densitatea de echilibru. Astfel se vor forma protogalaxiile, în interiorul cărora se vor forma apoi stelele. Dar Lemaître își concentrează atenția mai ales asupra roiurilor de galaxii. Pentru el, formațiunile de grad superior sînt cele care constituie fragmente ale Universului care au persistat în stare de echilibru. Aceasta este dovedită de vitezele proprii mari ale galaxiilor componente, de absența unor condensări centrale nete. Densitatea medie în roiuri este de aproximativ o mie de ori mai mare decât densitatea cosmică². Lemaître a dovedit mai multă acuratețe și precizie în studiul matematic al celei de-a doua faze cosmogonice decât în studiul primeia, cu toate că a introdus pentru studiul acestei probleme dificile — și care se pune de fapt oricărei teorii cosmogonice, fie ea chiar locală — metode și ipoteze de lucru diferite în diferitele perioade ale carierei sale.

¹ *L'Hypothèse de l'atome primitif et le problème des amas de galaxies, mem. cit., p. 13.*

² Precizăm că nu s-a realizat nici pe departe un acord în privința caracteristicilor structurale ale roiurilor de galaxii. Cunoașterea lor empirică provine din observații asupra unor regiuni ultraîndepărtate.

Era actuală în istoria Universului este caracterizată de reluarea accelerată a expansiunii și de sfârșitul marilor procese cosmogonice. Tot așa cum prima fază a expansiunii a lăsat urme sub forma radiațiilor cosmice, procesul cosmogonic major al celei de-a doua faze, condensarea gazului cosmic, nu s-a încheiat complet: au rămas formațiuni gazoase difuze în interiorul galaxiilor și probabil și în spațiul intergalactic și mai pot să se formeze încă stele.

Ca și cea mai mare parte a teoriilor genetice, fie că au ca obiect Universul, speciile vii, civilizația sau psihicul individual, cosmogonia lui Lemaître recunoaște deci în anumite forme observabile în prezent vestigii ale unor faze străvechi, atestând o încheiere incompletă a fiecăreia dintre fazele genezei. Teoriile de acest fel acordă de obicei un anumit rol factorilor întâmplători. Diferența constă evident în aceea că în cosmogonie nu avem nici „regresie”, nici „reîntoarcerea refulărilor”, nici vreuna din formele de supraviețuire sau de dare înapoi care apar în geneza structurilor teleologice.

Construcția lui Lemaître este fragilă. Numai fundamentele sale geometrice sînt cu adevărat solide. Trebuie să mai adăugăm rezerva că, așa cum am explicat pe larg, alegerea unei valori definite a constantei cosmologice și alegerea semnului curburii spațiului rămîn pînă la urmă arbitrare. Partea cea mai nouă, cea mai originală și cea mai seducătoare a cosmogoniei lui Lemaître, cea care se referă la atomul primitiv și la prima fază a expansiunii, este din păcate și cea mai puțin elaborată din punct de vedere fizico-matematic. În 1931, cînd și-a lansat ideea, era normal ca Lemaître să-și pună speranțele în noua știință a nucleului atomic pentru a-și verifica, confirma și rafina intuițiile. Dar, după treizeci de ani, cu toate că fizica nucleară nu a dezamăgit în nici un fel, nu se poate spune că ar fi oferit ipotezei lui Lemaître prea multe ocazii de a se preciza și a se dezvolta. Este destul de izbitor că nici în expunerile cele mai recente ale teoriei atomului primitiv, autorul nu s-a folosit mai mult decît în cele vechi de cunoștințe dobîndite efectiv, ci numai de dezvoltări viitoare posibile ale științei; de data aceasta nu de cele ale fizicii nucleare, ci mai curînd de cele ale unei teorii fundamentale care ar face să se înțeleagă, mai bine decît în teoria lui Eddington, „natura proceselor atomice”.

Lipsa aceasta a unei dezvoltări pozitive ni se pare a fi pentru cosmogonia lui Lemaître un inconvenient mai grav decît multiplele obiecții care i se pot aduce. Se știe că obiecțiile cele mai aspre împotriva *Originii speciilor* nu au distrus intuițiile darviniste și nu le-au împiedicat să domine încă teoria evoluției. Cea mai gravă dintre obiecțiile care i se pot aduce lui Lemaître este aceea că progresele marcate în cunoașterea radiațiilor cosmice au slăbit mult, dacă

nu chiar au ruinat principiul său după care aceste radiații nu pot fi fenomene locale și formate recent. Numeroase observații arată, de exemplu, existența unei relații determinate între variația intensității radiațiilor cosmice și cea a activității solare¹. Cu toate că problema originii și a propagării radiațiilor cosmice rămâne foarte controversată, teoria atmosferelor stelare nu exclude deloc posibilitatea ca ele să provină din stele. Pe de altă parte, prezența confirmată a cîmpurilor magnetice în Galaxie explică poate faptul că ele pot cîștiga o parte din enorma lor energie cinetică prin efecte de accelerare electromagnetică și că cîmpurile magnetice, determinindu-le să se rotească în toate sensurile, le conferă acea izotropie remarcabilă care este una din enigmele lor. Să adăugăm că dacă radiațiile cosmice sînt reținute în Galaxie datorită atracției magnetice, așa cum stelele sînt reținute datorită gravitației, densitatea de energie pe care o cunoaștem nu este valabilă decît în interiorul Galaxiei și nu este exclus ca în spațiul intergalactic să existe o densitate cvasinulă, numai radiații cu energie foarte mare putînd scăpa din Galaxie. Raportul mare dintre energia condensată în radiațiile cosmice și energia totală a Universului ar fi în acest caz pur iluzoriu și, odată cu el, și concluziile pe care le trage Lemaître. În plus, concluziile lui Lemaître în ceea ce privește roiurile de galaxii nu au fost niciodată în acord indiscutabil cu rezultatele observațiilor.

Am fi totuși nedrepti și am neglija importanța ei istorică dacă am aprecia valoarea cosmogoniei lui Lemaître numai din punctul de vedere al acordului cu faptele observate. Această teorie este îndrăzneată și riscantă, dar este vorba, dacă putem spune așa, de o îndrăzneală binevenită. Opera lui Lemaître este foarte importantă în măsura în care el a fost primul care a îndrăznit să tragă toate consecințele descoperirilor cosmologiei relativiste, aducînd dovada că știința nu poate evita să privească în față problema cosmogonică și că este obligată, oricît de opusă ar fi această obligație obișnuințelor sale, să și-o pună la scară foarte mare. Pe de altă parte, Lemaître a înțeles și a făcut să se înțeleagă încă din 1931 (cînd neutronul nu era cunoscut și originea termonucleară a radiației solare nu era încă stabilită) că problemele Universului nu mai puteau fi tratate, așa cum o făcuseră Kant, Laplace, Poincaré și chiar și Einstein, numai în funcție de legea gravitației, descoperirile microfizicii avînd repercusiuni inevitabile asupra

¹ *Encyclopédie Française*, t. II, *La Physique*, Paris, Larousse, 1955, pp. 2.70, 3—4.

reprezentării Cosmosului. Fapt este că, în orice caz, prin criticile pe care le-a suscitât, prin efortul de punere la punct la care i-a constrâns pe adversarii ca și pe partizanii ei, teoria lui Lemaître a jucat cu siguranță un rol mare în avântul gândirii cosmologice de la mijlocul secolului al XX-lea.

II. Cosmogonia lui Gamow

Teoria astrofizicianului american Gamow reunește într-o sinteză elegantă lucrări numeroase și diferite. Elementele sale figurează în diferite memorii de specialitate, dar ansamblul este prezentat cu un talent excepțional, într-o mică lucrare de semipopularizare¹. Cosmogonia lui Gamow se aseamănă în multe privințe cu cea a lui Lemaître, care a precedat-o cu cincisprezece ani și a influențat-o destul de evident. Ca și Lemaître și spre deosebire de mulți dintre contemporanii săi, Gamow consideră că trebuie să se folosească de „învechita” teorie a relativității generalizate și ia drept cadru al intuițiilor sale cosmogonice unul din modelele „clasice” ale cosmologiei relativiste². În teoria lui Gamow, ca și în cea a lui Lemaître, istoria cosmică începe de la un moment inițial, caracterizat de o stare singulară a materiei-energiei. Evoluția Universului în ansamblul său este scurtă și este dominată complet de expansiunea spațiului, care constituie procesul fundamental. Ea se împarte în trei faze principale, destul de asemănătoare cu cele ale lui Lemaître: o fază explozivă, în cursul căreia domină fenomenele nucleare conducând la repartiția actuală a materiei pe diferite specii atomice; o fază de condensare a acestei materii în stele și galaxii și, în sfârșit, faza actuală, în care marile procese cosmice s-au încheiat și care anunță stingerea lentă a stelelor și dispersarea la nesfârșit a sistemului de galaxii. Teoria întâmpină dificultăți analoage: necesitatea de a așeza cap la cap o cosmogonie explozivă (necesară pentru explicarea formării speciilor atomice) și o cosmogonie de condensare (indispensabilă explicării stelelor și galaxiilor), în care nu este deloc ușor de împăcat expansiunea spațiului cu concentrarea materiei.

Dar analogiile se opresc aici. Deși Lemaître este inventatorul originii singulare a Universului, prima fază cosmogonică, cea nucleară și explozivă, este punctul cel mai slab al teoriei sale. Dimpotrivă, acesta este punctul forte al teoriei lui Gamow, care

¹ *La Création de l'Univers, op. cit.*

² G. GAMOW, *On Relativistic Cosmogony*, Rev. Mod. Phys. 21, 3, 1949, p. 367.

se sprijină pe o analiză extrem de riguroasă și de fidelă a datelor de observație cu privire la problema genezei elementelor atomice, în ipoteza unei expansiuni rapide a unei materii originare formată dintr-un gaz de neutroni, foarte dens și foarte fierbinte, repartizat uniform într-un spațiu infinit, cu structură hiperbolică. Această analiză este rezultatul colaborării lui Gamow cu diverși alți autori. Ea a fost publicată în întregime, sub semnătura lui Alpher și Hermann, într-un lung memoriu, în anul 1950¹.

În schimb, studiul geometric este mai puțin precis la Gamow decât la Lemaître. Preferințele lui Gamow se îndreaptă spre ultimul model al lui Einstein: constanta cosmologică nulă, spațiul deschis de curbura negativă, ceea ce implică o expansiune indefinită, practic liniară după un anumit timp². Pentru alegerea lui Λ , Gamow își însușește argumentele lui Einstein: termenul cosmologic nu-și avea justificarea decât în ipoteza unui Univers static, care este evident inadecvată. Totuși, pentru a evita dificultățile legate de scara timpului și pentru a împinge puțin mai departe în trecut originea singulară, Gamow recurge la un expedient puțin convingător, adoptând o valoare ad-hoc, pozitivă și foarte mică, pentru Λ , ceea ce face ca derivata lui $R(t)$ să fie crescătoare în epoca actuală. Acesta este și procedeul întrebuintat de Alpher și Hermann. Este vorba evident de un artificiu, dealtfel perfect comparabil cu cel al lui Lemaître, care, pentru a încadra geometric „atomul primitiv”, alege pentru Λ o valoare puțin superioară valorii de echilibru. Inconvenientul este chiar mai mic la Gamow, deoarece dilatarea empirică a scării timpului îi permite să revină eventual la valoarea nulă a lui Λ , mai satisfăcătoare din punct de vedere teoretic.

Cît despre infinitatea spațiului, ea este la Gamow, cel puțin la fel ca și la Lemaître, o chestiune de părere personală și de preferință, numai că în sens invers. În primul său memoriu cosmogonic, Gamow prezintă problema deschiderii spațiale ca rezultind cu necesitate din condițiile cerute pentru apariția unei condensări locale într-un gaz cosmic omogen aflat în expansiune generală (în ipoteza $\Lambda = 0$)³. Dar această primă teorie a condensării era incompletă și insuficientă și prin urmare postulatul infinității este prezentat ca preferabil, fără a fi vreodată justificat solid.

¹ R. A. ALPHER, R. C. HERMANN, *Theory of the Origin and Relative Abundance Distribution of the Elements*, Rev. Mod. Phys., 22, 2, 1950, pp. 153–218.

² Vezi Anexa, VI, C, ec. 70.

³ G. GAMOW, E. TELLER, *On the Origin of Great Nebulae*, Phys. Rev., 55, 1939, p. 654.

Dealtfel, aspectele geometrice ale problemei îl interesează vizibil pe Gamow mai puțin decât aspectele fizice. Lui îi este suficient în fond să știe că teoria relativității generalizate permite să se explice corect deplasarea spre roșu și conduce la ideea atât de enigmatică, dar atât de promițătoare, din punct de vedere cosmogonic, a originii singulare. Este ceea ce îl deosebește net pe Gamow nu numai de Lemaître, ci și de cosmologii logicieni și geometri a căror operă este contemporană cu a sa. Oricât de mare ar fi gustul său pentru speculațiile cosmogonice și talentul său pentru sinteză, Gamow rămâne profund marcat de formația sa tehnică de astrofizician.

Oricum ar fi, ideea momentului inițial apare la Gamow într-un mod mai fizic decât la Lemaître, căci acest moment inițial, cel al „marii compresii”, cum spune Gamow, nu este începutul timpului, ci al erei actuale, care trebuie să fi fost precedată de prăbușirea unei structuri cosmice despre care noi nu putem ști nimic¹. Dealtfel astfel trebuie înțeles acest moment „inițial”, cu consecințele pe care le-am discutat în legătură cu antinomia timpului: starea Universului la momentul inițial ne permite să înțelegem tot ceea ce vedem, dar pune un ecran impenetrabil în calea oricărei încercări de a cunoaște ceea ce s-a petrecut înainte.

Pentru Gamow, ideea momentului inițial se impune nu numai pentru că este înscrisă în ecuațiile cosmologiei relativiste, ci și pentru că ea permite și, după părerea lui, este singura care poate permite o interpretare corectă a curbei abundențelor cosmice ale elementelor cu ajutorul legilor cunoscute ale reacțiilor nucleare. Într-adevăr, Gamow, Alpher și Hermann consideră noțiunea de abundență cosmică ca bine stabilită și fundamentală pentru cosmogonie: poate exista un tabel al abundențelor relative care să fie reprezentativ pentru starea materiei în întregul Univers, abaterile locale față de datele acestui tabel putând fi explicate prin împrejurări locale. După cum se vede, este vorba de o formă particulară a postulatului general al uniformității, care se regăsește în aproape toate speculațiile cosmologice. În consecință, curba abundențelor relative ale elementelor, în funcție de masa lor atomică, curbă stabilită empiric de către Brown în 1949, i se pare lui Gamow și emulilor săi destul de demnă de încredere pentru a servi ca punct de plecare al oricărei inducții asupra genezei elementelor și ca piatră de încercare pentru orice teorie care își propune să explice această geneză.

¹ *La Création de l'Univers, op. cit., p. 30.*

Trebuie să remarcăm mai întâi că, oricât de moderate ar părea la prima vedere aceste postulate, ele angajează de fapt foarte mult și foarte strict orice cercetare asupra problemei elementelor. Este, dacă vrem, un nou exemplu al proximității epistemologice a problemelor cosmice în știința modernă, proximitate care contrastează atât de mult cu efectul de îndepărtare care pare a fi rezultatul cel mai evident al progreselor marcate în cunoașterea astronomică. L-am văzut pe Einstein constrâns într-un fel la meditația cosmologică datorită situației îndoielnice a noțiunii de *substratum* metric universal. Îi vom vedea acum pe Alpher, Hermann și Gamow conduși la ipoteze Cosmogonice îndrăznețe numai de postulatul că tabloul empiric al abundențelor atomice este semnificativ pentru starea generală a materiei cosmice.

Într-adevăr, odată admis acest postulat și impusă cerința unei explicații genetice, Alpher și Hermann arată, examinând toate încercările anterioare de a explica geneza elementelor, că de fapt numărul ipotezelor plauzibile este extrem de restrâns. Este clar mai întâi că, în starea actuală a cosmosului, nu este posibil să se considere repartiția elementelor cosmice ca rezultatul unui echilibru dinamic. Transmutațiile nucleare sînt într-adevăr fenomene locale și chiar foarte strict localizate. Mai mult, în momentul în care ei și-au construit teoria, numărul transmutațiilor care puteau fi identificate și autentificate din cunoștințele asupra stelelor era extrem de restrâns. Ei trebuiau să aleagă de la început : sau să considere geneza elementelor ca un fenomen trecut și abundențele actuale ca urma unei stări dispărute a materiei, sau să admită că abundențele observate pot fi explicate prin fenomene locale, actualmente și indefinit aflate în curs — cele care se produc în stele. De fapt, în prezent preferința astrofizicienilor se îndreaptă în general spre această ultimă ipoteză, cu toate că ea dă naștere la dezvoltări complicate și încă fragmentare : această preferință se explică probabil prin faptul că, în aparență, această ipoteză nu este cosmologică și că ea nu face apel decît la fenomene ale căror consecințe sînt parțial observabile fie în laborator, fie în radiația stelelor. Trebuie totuși să remarcăm că la Hoyle această concepție se bazează, așa cum vom vedea, pe o teorie cosmogonică care camuflează într-o anumită măsură inconvenientul evident de a explica un efect cosmic global prin fenomene locale, inconvenient asupra căruia insistă Gamow atunci cînd le reproșează adeptilor unei astfel de explicații că introduc condiții foarte complicate pentru a obține, pornind de la procese multiple și eterogene, o lege acceptabilă a abundențelor.



Pentru a evita acest inconvenient și pentru a da o descriere cosmică unui fenomen cosmic, marile evenimente responsabile de formarea atomilor trebuie proiectate în trecut. Este ceea ce încearcă să facă Alpher, Hermann și Gamow. Dar, din momentul în care se încearcă definirea condițiilor fizice care au putut exista în momentul acestei geneze, apar dificultăți importante.

Primele încercări se bazau în general pe ipoteza că abundențele actuale corespund unei stări de echilibru care s-ar fi stabilit între elementele atomice în condiții care permiteau producerea efectivă a tuturor reacțiilor nucleare necesare, pentru ca apoi, condițiile schimbându-se brusc, acest echilibru să fi „încrămenit”, astfel încât să se fi menținut indefinit proporțiile care îi corespund. Dar această ipoteză nu este într-un acord prea bun cu observațiile. Nici o curbă a abundențelor calculată în ipoteza echilibrului nu reproduce forma curbei empirice, mult mai bogată îndeosebi în elemente grele.

În această situație, ideile directoare ale lui Gamow, Alpher, Hermann și ale altor făuritori ai teoriei sînt următoarele : să se renunțe la ipoteza formării la echilibru, pentru a fi înlocuită cu cea a singularității modelelor relativiste. Ei presupun deci că elementele s-au format pornind de la o stare prestelară a materiei-energiei¹ într-o fază de evoluție metrică foarte rapidă a spațiului, puțin după singularitatea modelului deschis, pe care acești autori îl adoptă pentru a reprezenta geometria cosmică. Variația foarte rapidă a metricii spațiale trebuia să conducă foarte rapid — în câteva ore — la o stare a materiei suficient de dilatată pentru ca continuarea reacțiilor nucleare generatoare de elemente să devină imposibilă. Era necesară o ipoteză asupra mecanismului sintezei nucleelor, ca și asupra structurii materiei primare : este vorba nu de un „atom primitiv”, ci de un gaz neutronic omogen. Cît despre construirea nucleelor, ea se face în esență (cu excepții pentru elementele foarte ușoare) prin captură de neutroni și degenerarea neutronilor în protoni și electroni negativi. În acest caz cheia problemei se află în compararea abundenței cosmice relative a nucleelor cu secțiunea lor eficace de captură a neutronilor, pentru diferite energii (într-adevăr, un nucleu are cu atît mai multe șanse de a se transforma într-un nucleu cu masa atomică mai mare, deci trebuie să fie cu atît mai rar în mod relativ, cu cît capturează mai ușor neutroni). Cele două ipoteze, materia primară identificată cu un gaz neutronic și mecanismul de sinteză,

¹ Gamow numește această protomaterie *ylem*, inspirindu-se dintr-un vechi cuvînt englezesc care amintește, evident, de ὕλη-ul filozofilor greci.

sînt evident legate una de alta : cu cît ne apropiem mai mult de origine, cu atît găsim mai mulți neutroni liberi, necapтураți și nedegenerați.

Or aceste ipoteze își găsesc o bună confirmare empirică prin punerea grafică în evidență a unei relații bine definite între abundențele cosmice ale elementelor și secțiunile lor eficace pentru captura de neutroni, așa cum arată experiențele de laborator (după cum, oferind o contraprobă judicioasă, deși neașteptată, Gamow arată grafic că nu există nici o relație între abundențele cosmice ale elementelor și prețul lor comercial pe kilogram). Corelația empirică arată că pînă la masa atomică de aproximativ o sută, abundențele relative descresc exponențial, secțiunile eficace crescînd în același fel, în timp ce pentru masele mai mari de o sută, cele două variabile rămîn sensibil constante.

Pornind de aici, teoria se dezvoltă după schema următoare: modelul cosmologic este determinat în raport cu evaluarea temperaturii, a densității materiei și a densității radiației în funcție de timp, în vecinătatea originii. Materia fiind compusă numai din neutroni, singura reacție posibilă este degenerarea neutronului, apoi captura neutronului de către proton pentru a forma un nucleu de deuteriu etc., elementele formîndu-se prin captură de neutroni, în același timp în care expansiunea face ca temperatura și densitatea să scadă rapid. Ansamblul proceselor se încheie într-un timp care nu este decît de cîteva ori mai mare decît viața medie a neutronului, să zicem în total cîteva mii de secunde. Alpher și Hermann obțin ecuațiile generale ale teoriei scriind că concentrația fiecărei specii nucleare crește pe seama speciei inferioare, prin captura unui neutron, și descrește în favoarea speciei superioare prin aceeași reacție. Descreșterea concentrației neutronilor se face atît prin captură cît și prin degenerare în favoarea protonilor și electronilor.

Este necesară o serioasă muncă de ajustare pentru a face utilizabile cele aproape două sute cincizeci de ecuații ale teoriei, în special pentru a ține cont de relațiile complicate care există între energiile neutronilor și secțiunile lor de captură de către nuclee. Prin aproximații succesive și încercînd diferite valori ale unui parametru arbitrar — legat de densitatea materiei-energiei și care este imposibil de determinat aprioric — Alpher și Hermann obțin pentru abundențele relative o serie de curbe al căror aspect este foarte asemănător cu cel al curbei empirice și dintre care unele sînt chiar foarte apropiate¹.

¹ *La Création de l'Univers, op. cit., p. 71.*

În rest, teoria explică în mod inegal diversele detalii remarcabile ale curbei empirice : ea face să se înțeleagă cu ușurință repercusiunile parităților respective ale numărului atomic și ale numărului de masă asupra abundenței unui element și explică foarte bine abundența excepțională a nucleelor cu „număr magic”, a căror stabilitate este deosebit de mare, iar secțiunea eficace pentru captura de neutroni remarcabil de slabă. În schimb alte detalii foarte importante nu sînt prea bine explicate : astfel, existența „picului fierului” pe curba empirică și raritatea relativă a litiului, a beriliului și a borului în raport cu alte elemente ușoare — rarități care cere dealtfel în toate teoriile o explicație deosebită.

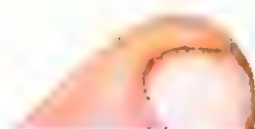
În cosmogonia lui Gamow, ca și în cea a lui Lemaitre, după faza explozivă urmează o fază de condensare — sau, dacă ne gîndim la istoria fizicii mai curînd decît la cea a Universului, unei faze „moderne” îi urmează o fază „clasică”. Căci, odată terminată „coacerea” atomilor, materia cosmică poate fi asimilată unui gaz în care au încetat reacțiile nucleare, care se răcește și în care densitatea radiației tinde să devină mai mică decît densitatea masei, sub efectul expansiunii care face ca prima să descrească mult mai repede decît cea de-a doua. În consecință, după o perioadă de expansiune uniformă, care se termină atunci cînd cele două densități au devenit egale, factorii determinanți ai celei de-a doua faze cosmogonice vor fi forțele mecanice tradiționale, gravitația și inerția atomilor și a grupărilor de atomi, cărora li se adaugă o presiune descrescătoare a radiației. În cartea *La Création de l'Univers* durata acestei perioade de tranziție era fixată la treizeci de milioane de ani. Mai tîrziu, măsurătorile lui Hubble începînd să fie contestate, Gamow a estimat ansamblul istoriei cosmice la cinci miliarde de ani, iar faza de tranziție la a douăzecea parte din această vîrstă, adică la două sute cincizeci de milioane de ani ¹.

Tabloul actual al Universului prezintă materia condensată în stele și sisteme planetare, în galaxii și roiuri de galaxii. Trebuie să se înțeleagă deci cum a putut evolua gazul difuz astfel încît să producă această „ierarhie a condensărilor”. Aceasta nu este o problemă nouă, iar Gamow nu este nici primul nici ultimul care o pune. Totuși, înainte de a examina modul în care concepe el rezolvarea, trebuie să facem unele remarci cu privire la legarea primei faze cosmogonice de cea de-a doua.

Într-adevăr, această legătură — dintre faza de condensare și faza de explozie — nu este lipsită de consecințe surprinzătoare

¹ G. GAMOW, *On the Formation of Protogalaxies in the Turbulent Primordial Gas*, Proc. Nat. Acad. Sc. U.S.A., 40, 1954, pp. 480—484.

în ceea ce privește scara timpului istoriei cosmice. În teoria lui Lemaitre, durata primei faze cosmogonice era complet lăsată în umbră; se știa numai că este „rapidă”. În teoria lui Gamow, dimpotrivă, această durată este evaluată cu precizie și scurtimea sa pare fantastică la scara astronomică: câteva mii de secunde, nu mai mult de o oră, afirmă însuși Gamow... Condensarea, în schimb — și asupra acestui punct toată lumea este de acord — nu poate fi decât un proces foarte lung. La Gamow ea începe la treizeci de milioane de ani după origine și continuă timp de zeci de milioane de ani: contrastul dintre ordinele de mărime este atât de izbitor, încât reprezentarea acestor două procese ca succesive pare extrem de artificială. Gamow sesizează bineînțeles această obiecție și răspunde judicios făcând remarcă că fizica nucleară oferă exemple ale unei astfel de „elasticități” în scara timpului. Reacțiile în lanț care provoacă explozia unei bombe atomice nu durează decât câteva milionimi de secundă, dar, mulți ani după aceea se pot încă decela, la locul exploziei, anumite produse radioactive ale fisiunii; or raportul dintre câțiva ani și câteva microsecunde este sensibil același cu cel dintre trei miliarde de ani (vîrsta actuală a Universului presupusă de Gamow) și o oră. S-ar putea adăuga, în spiritul lui Gamow, că dacă sîntem șocați de contrastul dintre scările diferitelor procese cosmice, este pentru că introducem implicit în reprezentarea noastră a Universului un anumit postulat de regularitate în evoluția cosmică. Și, într-adevăr, un postulat de acest fel este probabil indispensabil. Cosmologia relativistă îl folosește în interpretarea sa a deplasării spre roșu: pentru ca acest efect să poată fi perceptibil, trebuie să presupunem identitatea perioadelor de vibrație ale tuturor atomilor identici, dacă sînt măsurate în timpul cosmic. Studiul teoriei relativității cinematice ne-a arătat că se poate merge foarte departe cu subtilitatea cu privire la acest postulat al uniformității timpului și la adevărata sa semnificație. Dar tocmai atunci cînd încercăm să-i dăm o formă compatibilă cu cuceririle științei contemporane — adică atunci cînd căutăm scara timpului fundamental în fenomenele microfizice — se impune contrastul care pare inevitabil. Gamow îi dă o formă cosmică surprinzătoare, care provoacă o atitudine sceptică, dar contrastul nu este mai puțin frapant în istoria anumitor stele așa cum o prezintă astrofizicienii cei mai puțin speculativi, iar fenomenele extraordinare de novă și, mai ales, de supernovă îl face foarte spectaculos: dacă radiația solară pare să fi fost constantă sau să nu fi cunoscut decât variații slabe, lente și regulate de miliarde de ani încoace, în schimb o stea care trece brusc la starea de supernovă radiază



în câteva zile tot atita energie cît radiază Soarele în mai multe zeci de milioane de ani, pentru a-și regăsi după aceea o nouă stabilitate. Se poate deci ca impresia de arbitrar pe care o lasă, în cosmogonia lui Gamow, legătura dintre cele două procese de durate atît de diferite să nu se datoreze decît unei prejudecăți sau unei neîncrederi ascunse față de imaginea catastrofei sau a paroxismului. În schimb, aprioric pare destul de artificial să proiectăm asupra Universului separarea în etape existentă în fizică, să presupunem că faza nucleară și faza mecanică s-au succedat în istoria lumii ca în istoria științei, deși în ordine inversă.

Teoria condensărilor a lui Gamow nu este decît una dintre numeroasele încercări făcute de treizeci de ani încoace cu mai mult sau mai puțin succes de a explica la orice scară — planete, stele, roiuri de stele, galaxii, roiuri de galaxii — formarea condensărilor pornind de la un mediu material difuz, foarte diluat și mai mult sau mai puțin asimilabil unui gaz. Dealtfel, în cele mai multe puncte, Gamow se referă la lucrări ale contemporanilor săi, îndreptîndu-și numai preferința spre unul sau altul din tipurile de cercetări care se acordă mai bine cu vederile sale generale. De fapt, ansamblul acestor probleme și-a recîștigat considerabil interesul în ultimele decenii. Teoria formării sistemului solar pornind de la o nebuloasă rămăsese într-un stadiu speculativ atît timp cît materia interplanetară pe care stelele căzătoare o aduc pe Pămînt nu fusese sistematic studiată. Ea se lovea pe de altă parte de obiecții teoretice care fuseseră considerate multă vreme decisive. După Poincaré ea a fost foarte neglijată. Cît despre originea stelelor, aceasta nu putea face obiectul unui studiu foarte precis atît timp cît misterul radiației lor nu fusese lămurit. Odată rezolvată această problemă și odată cu intrarea în cîmpul de observație și a gazului și a pulberilor cosmice, studiul matematic al formării și al evoluției stelare putea fi inițiat. Acest studiu a fost stimulat de descoperirea, cu cincisprezece ani mai înainte, a unor obiecte astronomice care lăsau să se creadă că formarea stelelor prin condensare continuă și astăzi. Globulele obscure, de dimensiuni relativ reduse, observate în diferite nebuloase gazoase, ar fi stele în formare, sfere de gaz destul de concentrate pentru a deveni opace pentru radiația ambiantă, dar nu destul pentru ca temperatura, care crește pe măsură ce gazul se condensează, să atingă nivelul necesar declanșării reacțiilor termonucleare¹. Paralel, o cunoaștere mai precisă a materiei difuze din sistemul solar și

¹ Se numesc „globulele lui Bok”, după numele descoperitorului lor; vezi E. SCHATZMAN, *Origine et Évolution...*, op. cit., p. 191.

folosirea unor ipoteze noi permit teoriilor formării planetelor prin condensare să ia un nou avânt.

Pe de altă parte, construirea progresivă, la începutul secolului al XX-lea, a puternicului arsenal matematic al mecanicii statistice furniza teoreticienilor instrumente care lipsiseră înaintașilor lor pentru a stăpîni mai bine prin calcul imensa complexitate a dinamicii fluidelor.

Punctul de plecare și principalele dificultăți ale oricărei teorii a condensării la scară astronomică sînt de acum înainte bine stabilite, dar obstacolele sînt departe de a fi depășite. Un rezultat stabilit de către Jeans arată că condensarea este posibilă, ba chiar inevitabilă la o anumită scară: din punct de vedere al gravitației, condensările trebuie să se formeze și să se mențină în mod necesar indiferent de densitate, volumul condensării fiind cu atît mai mare cu cît densitatea este mai mică. Ne putem deci aștepta ca un nor cosmic de dimensiuni suficient de mari să se contracte spontan, dar, pentru densitățile observate în general în Univers, aceste dimensiuni critice sînt foarte mari și mult superioare celor ale unei viitoare stele. Pe de altă parte, dificultatea legată de *momentul cinetic*, care a constituit una din obiecțiile clasice împotriva teoriei laplaceiene a sistemului solar, este foarte generală și amenință orice teorie a condensării: un corp care se rotește — și acesta este cazul pentru cele mai multe din sistemele astronomice cunoscute — își conservă momentul cinetic. De aici rezultă că dacă el se contractă, viteza sa de rotație crește, amenințînd coeziunea sa internă și eventual împiedicînd continuarea condensării pînă la stadiul de stea.

În sfîrșit, cînd este vorba de condensări foarte mari, la scara galaxiilor și a roiurilor de galaxii, apare un alt obstacol în cosmogonia relativistă: mișcarea de expansiune care, atunci cînd are o valoare semnificativă, transformă atît de mult rezultatul lui Jeans, încît impune o densitate critică, sub care condensarea nu mai este posibilă¹.

Chiar și aceasta este o concluzie prea optimistă. Ca răspuns la primele schițări ale teoriei lui Gamow, Lifshitz — care contestă dealtfel valoarea ipotezelor lui Jeans în teoria newtoniană — a procedat în 1946 la o examinare aprofundată, în cadrul relativității generalizate, a problemei condensării locale prin gravitație în universurile Friedman-Einstein². Concluziile sale sînt deci vala-

¹ G. GAMOW, E. TELLER, *On the Origin...*, mem. cit.

² E. LIFSHITZ, *On the Gravitational Stability of the Expanding Universe*, Journal of Physics (U.R.S.S.), 10, 2, 1946, pp. 116—129.

bile pentru modelul cosmologic care servește ca suport cosmogoniei lui Gamow (în schimb valabilitatea lor pentru cosmogonia lui Lemaître nu este evidentă). Ele sînt în orice caz perfect clare și, după cîte știm, nu au fost niciodată contestate. În modelele considerate, condensările locale care rezultă dintr-o fluctuație întîmplătoare a densității nu pot servi la declanșarea unui proces de condensare prin gravitație: ele sînt destinate să se disperseze, sau, în cazul unora dintre ele, să crească atît de lent încît acest mod de formare nu este de conceput pentru galaxii.

Deci dacă vrem să înțelegem mecanismul condensării la orice nivel, trebuie să facem să intervină factori ajutători, care să accentueze acțiunea gravitației — sau care să permită structurii în formare să se debaraseze de excesul său de moment cinetic, dacă dificultatea principală în problema respectivă a putut fi localizată în acest punct. Cercetătorii au cheltuit multă ingeniozitate pentru a găsi astfel de factori și multe eforturi pentru a le calcula efectele posibile.

În această privință, caracteristica cea mai frapantă a cosmogoniei lui Gamow este fără îndoială rolul capital jucat de turbulență la toate scările: imagine cosmogonică uitată de la Descartes încoace, la care, la drept vorbind, vârtejul nu avea sensul pe care i-l conferă Gamow și modernii. Formă stabilă și ordonată, el are mai ales sarcina, la Descartes, de a asigura permanența structurilor cerești amenințate de inerție și de mișcarea rectilinie indusă de ea. În cosmogonia atît de riguros monistă a lui Gamow, intervenția turbulenței este dimpotrivă o concesie făcută diversității și întîmplătorului pe care le constatăm în Univers. Prin rolul genetic pe care îl conferă vârtejului — ca și prin introducerea în cosmogonie a fenomenelor nucleare — Gamow reprezintă tendința timpului său. La mijlocul secolului al XX-lea, fizica turbulenței nu era numai o cercetare la ordinea zilei, datorată interesului său practic pentru aviația ultrarapidă; ea avea, și mai are încă, un sens epistemologic legat foarte direct de preocupările de bază ale științei moderne. Între structurile globale stabile și integrate și dezordinea perfectă, dezordinea ideală de la scară moleculară, între armonia kepleriană a mișcărilor planetare și hazardul pur care guvernează aerul calm și apa liniștită, vârtejul reprezintă o figură intermediară și ambiguă, dezordine care rupe regularitatea repausului sau a fluxului, schițare a unei ordini, totuși, care „întărește” fluidul în anumite locuri și îl modelează, așa cum se vede în acele grote în care vîltoarea apelor subterane a modelat puțin cîte puțin piatra. Prin această ambiguitate, această poziție intermediară și insesizabilă (vîrtejuri de toate dimensiunile se

îmbucă între ele, se fac și se desfac fără încetare), turbulența pare să sfideze înțelegerea. Dealtfel, studiul teoretic al fenomenului a fost precedat de studiul său empiric. Dar pătrunzând în fizica vîrtejurilor, matematica a dovedit, mai mult decît oriunde, că a devenit capabilă să străbată întreg labirintul realului.

Pentru a explica formarea stelelor și a sistemelor planetare, Gamow se sprijină în principal pe teoriile care fac apel la mișcările turbulente pentru a depăși obstacolele care se opun condensării gravitaționale, mai ales pe teoriile lui von Weizsäcker.

Pentru a explica procesul inițial al celei de-a doua faze cosmogonice din teoria sa, separarea gazului cosmic omogen în protogalaxii, el invocă tot turbulența. În privința aceasta, cosmologia sa îl situează pe o poziție mai dificilă decît cea a lui Lemaître. Într-adevăr, în modelul cosmologic în care se încadrează cosmogonia „atomului primitiv”, expansiunea se încetinește într-o anumită perioadă a istoriei cosmice¹. Este deci aplicabilă formula lui Jeans și, cînd se reia expansiunea, ea nu mai amenință coeziunea internă a galaxiilor formate. Dar așa ceva nu este posibil în modelul cosmologic al lui Gamow, în care concluziile lui Lifshitz sînt strict aplicabile. Dealtfel, însuși Gamow recunoaște că compararea valorilor actuale ale recesiunii cu cele ale densității cosmice scoate în evidență faptul că condensarea ar fi imposibilă în prezent și că ea trebuie să fi fost imposibilă și în epoca în care se presupune că ar fi trebuit să înceapă². A fost necesară deci producerea în acea epocă a unor importante fluctuații ale densității, pe care numai o turbulență puternică le-ar fi putut provoca. Un arheolog nu poate însă postula realitatea unui eveniment fără a găsi cîteva urme: Gamow vrea să găsească urmele turbulenței primordiale în distribuția galaxiilor, concentrate foarte neregulat în roiuri și într-un mod care, după calculele colaboratorilor săi, corespunde unui grad de compresiune suficient de mare pentru a explica formarea de condensări în gazul primitiv³. În timp ce la Lemaître, roiurile de galaxii sînt fragmente ale unui Univers în echilibru, care s-a modelat în timpul perioadei în care expansiunea s-a oprit, pentru Gamow ele sînt efectele unei „turbulențe fosilizate”. Se vede că interpretarea vestigiilor nu este mai puțin incertă în cosmogonie decît în paleontologie. Ca un adevărat cosmogonist, Gamow admite să se pună întrebarea: *de ce* exista o puternică turbulență în gazul primordial? Ca și Lemaître pentru

¹ Vezi Anexa, VI, C, 3, fig. VI.

² G. GAMOW, *On the Formation of Protogalaxies in the Turbulent Primordial Gas*, Proc. Nat. Acad. Sc. U.S.A., 40, 1954, p. 481.

³ *Ibid.*, p. 482.

atomul primitiv, Gamow amână explicarea acestui punct pînă la cercetări viitoare. În momentul în care începe formarea protogalaxiilor, amestecul cosmic conține încă cincizeci la sută din masa-energia sa sub formă de materie și cincizeci la sută sub formă de radiație; mecanica și termodinamica unui astfel de sistem fiind pentru moment necunoscute, nu putem ști dacă turbulența nu este o regulă în acest caz.

Cosmogonia lui Gamow se bazează mai mult decît cea a lui Lemaître pe cunoștințele dobîndite de fizică și astronomie. Cît despre valoarea sa ca reprezentare adecvată a istoriei cosmice reale, ea este evident discutabilă. Ne mărginim a spune că cosmologia lui Gamow este remarcabilă prin stilul său sintetic. Ea atinge un grad de unitate care nu este egalat sau depășit decît de teoria stării staționare și de continuările pe care i le-a dat Hoyle. Într-adevăr, la Gamow, toate procesele de oarecare importanță din Univers sînt pînă la urmă legate de una din fazele sau împrejurările istoriei cosmice. Pe de altă parte, ideea de stare inițială este pusă în evidență în modul cel mai direct și în același timp cel mai verosimil posibil.

Din punct de vedere al perfecțiunii conceptuale, i se poate reproșa totuși lui Gamow, desigur, nu faptul de a fi dorit să trateze problema cosmologică în cadrul teoriei relativității generalizate și nici de a se fi situat în această privință cît mai aproape posibil de ultimele poziții ale lui Einstein, ci de a fi ezitat puțin în alegerea unui model de univers și de a se fi interesat mai puțin de problema structurii decît de problema genezei. Este ceea ce deosebește teoria sa nu numai de cea a lui Lemaître, dar mai mult încă de cea a lui Hoyle. Este adevărat că la aceasta a contribuit într-o oarecare măsură și dificultatea, în parte imaginară, a scării timpului.

III. Cosmogonia lui Hoyle : geneza obiectelor cosmice într-un spațiu-timp staționar

Teoria stării staționare, sub forma pe care i-o dăduseră la început Bondi și Gold, este în mod esențial o teorie structurală și autorii nu au continuat-o prin nici o încercare sistematică de sinteză cosmogonică. Totuși, asocierea dintre cosmologie și cosmogonie este aici deosebit de evidentă, pentru că soluția problemei structurii implică generarea continuă ca o consecință necesară. Astfel că, în același timp în care pune la punct soluția staționară a problemei structurii și o completa printr-o teorie a generării privită ca un câmp fizic, Hoyle s-a apucat, cu o ingeniozitate in-

opuizabilă, să inventeze, să dezvolte, să pună la punct, să adapteze o cosmogonie sintetică compatibilă cu modelul staționar.

Această teorie este aproape în toate privințele opusă celor pe care toemai le-am expus, pentru că încă de la început ea se deosebește de acestea în privința unui element esențial al sintezei cosmogonice: la Gamow, ca și la Lemaitre, Universul, sau cel puțin ceea ce putem cunoaște din el prin observație și raționament, are o istorie. Procesele genetice nu se reînnoiesc deci decât parțial, iar cele mai importante dintre ele deloc. Dimpotrivă, deoarece Universul din teoria stării staționare este din principiu staționar, nu există istorie cosmică, ci numai istorii locale și parțiale, care se pot continua indefinit, dar care trebuie să se repete indefinit și în alte sisteme materiale.

Principiul cosmologic perfect — dacă ne putem permite să introducem în expunerea teoriei lui Hoyle o expresie de care acest autor nu se servește cu plăcere — impune în același timp un criteriu de selecție extrem de strict în alegerea ipotezelor și un minunat fir al Ariadnei în labirintul observațiilor și al problemelor.

În teoria lui Hoyle, generarea continuă de materie-energie, este primul dintre procesele genetice care nu are echivalent în nici una din teoriile pe care le-am citat, în afară de cea a lui Jordan. Ea rezultă, după cum se știe, din necesitatea unei compensări „fenomenologice” a dispersării materiei-energiei care rezultă din expansiune. Dacă conținutul material al spațiu-timp-ului nu se reînnoiește neîncetat în unitatea de volum propriu, observatorul fundamental va vedea acest conținut dispersându-se la nesfârșit, iar înfățișarea Universului, contrar principiului cosmologic perfect, nu va înceta să se schimbe, chiar la scară cosmologică.

Hoyle, ca și Bondi și Jordan, nu este dispus să admită că generarea continuă, așa cum o concepe el, implică abandonarea principiului conservării. Într-un Univers infinit, crede el, totalitatea materiei este o idee lipsită de sens. Pentru a putea enunța principiul conservării pentru un astfel de Univers, trebuie deci precizat ce anume se conservă. Postulind că este vorba de cantitatea de materie-energie în unitatea de *volum-propriu* (măsurat de observatorul fundamental în sistemul său propriu) și nu în unitatea de *volum-coordonată* (independent de timpul cosmic¹), teoria stării staționare schimbă pur și simplu natura cantității care se conservă, „dar întreaga istorie a legilor de conservare din fizică oferă exemple de modificări repetate în definiția cantităților care se conservă”².

¹ Vezi Anexa, VI, B, 2.

² *The Steady State Theory*, in *La Structure et l'Évolution de l'Univers*, op. cit., p. 80.

Rata generării continue poate fi calculată după teoria structurală, pornind de la valorile empirice ale lui ρ_0 (densitatea cosmologică în epoca cosmică actuală) și H_0 (constanta lui Hubble). Luînd ca bune estimările lui Oort și Sandage pentru aceste mărimi, obținem o valoare de ordinul a 10^{-48} g/cm și pe secundă. Această rată este atît de mică la scara măsurărilor umane, încît nu poate fi vorba de vreo confirmare directă prin observație sau experiență.

Cît despre modalitățile generării, nu poate fi evitat un anumit grad de arbitrar în această privință. Am vorbit despre consecințele pe care Bondi și Gold credeau aprioric că le pot trage din principiile lor, adăugîndu-le cîteva postulate, plauzibile după părerea lor¹. Generare continuă și uniformă în tot spațiul (și nu, ca în teoria lui Jordan, prin procese spasmodice și strict localizate), alegerea masei (mai curînd decît a energiei), a hidrogenului (mai curînd decît a altui atom) ca materie primă a generării.

Făcînd această alegere, Bondi și Gold fuseseră conduși în parte, după propria lor mărturisire, de preferința lor pentru cosmogonia de condensare, confirmată la acea dată de descoperirea recentă a globulelor lui Bok și de moda teoriilor *acrecției*, după care, odată formată, o stea poate continua să se îmbogățească pe seama mediului interstelar.

Mai tîrziu, importanța, ba chiar realitatea, fenomenului de acrecție au fost puse la îndoială, iar cosmogonia de condensare a pierdut teren, mai ales sub influența puternică a lui Ambartsumian, un apărător talentat, așa cum vom vedea, al schemelor explozive. Totuși, în ciuda dificultăților pe care le întîmpină, formarea stelelor prin condensare este în general considerată ca verosimilă și nu a fost propusă nici o altă teorie coerentă care s-o înlocuiască.

În orice caz, Hoyle nu a modificat prea mult postulatele lui Bondi și Gold cu privire la modalitățile generării continue. Ipoteza continuității spațio-temporale a procesului — la scară cosmologică — are pentru Hoyle avantajul de a da teoriei sale a cîmpului generării forma clasică și „macroscopică” cea mai potrivită includerii ecuațiilor sale în teoria relativității, de la care, așa cum am mai spus, încearcă să se îndepărteze cît mai puțin posibil.

Nu poate fi vorba decît de o aproximație, pentru că în ultimă analiză generarea trebuie să fie considerată ca un fenomen microfizic, deci cuantic. Se presupune însă că materia se formează uniform în tot spațiul, sub formă de particule elementare. Cu alte cuvinte, dat fiind volumul mic ocupat de galaxii, cea mai mare parte a materiei create apare în spațiile intergalactice, în care ea

¹ Vezi mai sus, p. 225.

reinnoiește fără încetare un gaz original de densitate medie egală cu cea cosmologică.

Din ce este format acest gaz și care sînt proprietățile sale fizice? Din protoni și din electroni, răspunde Hoyle, urmîndu-i pe Bondi și Gold. Pe de altă parte, în fiecare punct materia nou creată parcurge geodezica lui Weyl și generarea este asociată în mod fundamental timpului cosmic. În privința acestor puncte Hoyle, ca dealtfel toți adepții teoriei stării staționare, nu și-a schimbat niciodată părerile. Dar aceste aserțiuni lasă încă multe posibilități între care trebuie făcută alegerea : *a.* sub ce formă se prezintă hidrogenul nou creat; *b.* care este temperatura sa. Aceste două probleme sînt dealtfel legate una de alta, temperatura unui gaz fiind legată de gradul său de ionizare, conform legilor obișnuite ale fizicii.

În această privință, postulatele lui Hoyle au suferit modificări. În prima versiune a cosmogoniei sale, materia originală era un gaz de hidrogen parțial ionizat, dar relativ „rece” (cincisprezece mii de grade). În versiunile ulterioare, gazul original este format din neutroni care, dezintegrîndu-se, dau o *plasmă* cu temperatură foarte mare, total ionizată. Această schimbare a fost motivată atît prin descoperirile empirice care tind să dovedească existența unor importante fenomene cosmice de origine electromagnetică (de unde necesitatea de a întreține prin generare continuă cîmpurile magnetice pe care expansiunea, la scară meta-galactică, le-ar distruge), cît și prin căutarea condițiilor fizice celor mai favorabile rezolvării dificilei probleme a *formării galaxiilor și a roiurilor de galaxii*.

Într-adevăr, una din trăsăturile distinctive ale cosmogoniei lui Hoyle este aceea că primul proces genetic după generare nu este formarea elementelor, ci a galaxiilor, pornind de la hidrogenul original.

Mediul intergalactic actual — despre care empiric se știe foarte puține lucruri, în afară de faptul că nu constă dintr-un vid absolut — este cu necesitate, în teoria lui Hoyle, indefinit reinnoit și menținut în aceeași stare prin generare continuă. Or cu siguranță el nu îndeplinește condițiile cerute pentru sinteza directă a elementelor plecînd de la hidrogen. Aceste condiții nu există actualmente (și conform principiului cosmologic perfect, situația

este întotdeauna aceeași) decît în stele. Pentru ca elementele să se poată forma trebuie deci să existe stele, deci ca gazul original să se fi condensat. Problema formării galaxiilor este deci prima în ordinea cosmogonică reală (care, atragem atenția, nu este o ordine temporală absolută, pentru că au existat întotdeauna în Univers galaxii, stele și elemente). Pe de altă parte, problemele privind formarea și evoluția stelelor țin mai mult de astrofizica pozitivă și „curentă”.

De fapt, cu toată contribuția sa importantă la studiul teoretic al stelelor, de cincisprezece ani încoace Hoyle s-a ocupat mai intens de studiul formării galaxiilor. Ideile sale directoare și metodele sale folosite în raționament au rămas aceleași, cu toate că ipotezele de lucru au fost sensibil schimbate :

Universul observabil fiind evident format din condensări materiale discrete, principiul cosmologic perfect impune nu numai constanța densității cosmologice și a ritmului expansiunii, dar și constanța dimensiunilor și a distanțelor medii ale condensărilor regionale.

Or, metrica lui de Sitter, principiul cosmologic perfect și, la Hoyle, teoria cîmpului generării definesc mărimi fundamentale care trebuie să fie constante în sistemul de măsură al oricărui observator al *substratum*-ului și să servească drept etalon pentru distribuția spațio-temporală a structurilor cosmice : $\frac{1}{H}$ este evi-

dent unitatea de timp, iar intervalul $\frac{1}{3H}$, inversul căruia apare în formula care definește rata generării continue¹, trebuie să joace un rol cosmogonic esențial — el este intervalul unei „generații”. Raza de trunchiere (*cut-off radius*), $\frac{c}{H}$, care este, în orice

moment, distanța începînd de la care obiectele ies definitiv din cîmpul de observație al unui observator fundamental, este un fel de unitate cosmică de lungime². În sfîrșit, densitatea cosmologică, care în teoria stării staționare este, strict vorbind, arbitrară, dar care este determinată de legile cîmpului în teoria lui Hoyle³, este punctul de plecare al formării condensărilor. Or etaloanele de timp și de spațiu (de ordinul a zece miliarde de ani sau de ani-lumină) fiind enorme, densitatea cosmologică este infimă în raport cu cea a stelelor, ba chiar a galaxiilor.

¹ Anexa, VI, B, 2, ec. 65.

² *Ibid.*

³ Anexa, X, A.

Aceste motive, împreună cu multe altele, l-au făcut pe Hoyle să fie întotdeauna convins că dacă dorim să înțelegem mecanismul condensării plecând de la materia intergalactică ultradifuză și ajungând pînă la marile densități stelare, trebuie să privim lucrurile la scară foarte mare și să presupunem că mecanismul afectează la origine un „nor” intergalactic ce conține materia unui număr foarte mare de galaxii (o sută de mii, după ultimele sale concepții), pentru că numai fragmentarea succesivă a norului inițial în porțiuni din ce în ce mai mici și din ce în ce mai condensate poate asigura continuarea și accelerarea procesului declanșat. De aici o viziune cosmogonică simplă și grandioasă, în care turbulența nu joacă nici un rol, contrar situației din cosmogonia lui Gamow.

Odată trasate aceste linii mari — care nu s-au schimbat — rămîne să se înțeleagă cum se pot desfășura efectiv lucrurile. Hoyle a schițat mai întîi o schemă în care temperatura cinetică a gazului original este relativ scăzută, în jur de cincisprezece mii de grade, ceea ce corespunde unei ionizări în proporție de două treimi. El presupunea că motorul exclusiv al condensării este gravitația. Pentru ca energia mecanică legată de mișcarea de contracție să se disperseze în radiație și să nu provoace o restabilire prematură a echilibrului, trebuie ca norul să sufere o suită de fragmentări care asigură dispersarea energiei și fac din condensare un proces practic izoterm, pînă în momentul în care densitatea și opacitatea fragmentelor devin atît de mari încît contracția devine cvasiadiabatică. Temperatura internă poate crește atunci pînă la punctul de declanșare a reacțiilor nucleare ale hidrogenului : stelele se pot aprinde.

În afara numeroaselor dificultăți de detaliu de care se lovește, această schemă este supusă aceleiași obiecții pe care Lifshitz o aducea cosmogoniei lui Gamow. Poate oare compensa gravitația mișcarea generală de expansiune la scara la care se declanșează condensarea primară? Prima cosmogonie a lui Hoyle este deficitară în această privință, pentru că teoria cîmpului generării determină densitatea cosmologică — și îi fixează o valoare prea mică. Faptul că concluzia lui Lifshitz trebuie să se aplice și Universului lui Hoyle, care nu este o soluție a ecuațiilor lui Einstein, nu era evident. Dar studii mai recente, pe care însuși Hoyle le-a recunoscut ca întemeiate, au demonstrat că condensarea nu este posibilă într-un astfel de model numai sub efectul forțelor de gravitație¹.

¹ M. HARWIT, *Can Gravitational Forces Account for Galaxy Formation in a Steady State Universe?*, M.N.R.A.S., 122, 1961, pp. 47—50.



De aceea, într-o schemă mai recentă, Hoyle și-a modificat ipotezele de lucru. El presupune existența unui gaz inițial mult mai cald, de mai multe milioane de grade, așa cum ar trebui să fie dacă materia generată ar fi formată din neutroni supuși dezintegrării β . În acest caz, condensarea prin gravitație ar fi complet imposibilă dacă nu ar interveni un alt mecanism, care rezultă din variațiile locale de temperatură și de densitate din norul metagalactic: regiunile mai reci pot fi comprimate prin presiunea gazului cald înconjurător. Această ipoteză nu conține nimic neverosimil, iar mecanismul ar putea explica și formarea la o scară mult mai mică, în nebuloasele gazoase ale Galaxiei, a globulelor lui Bok.

În această a doua schemă a lui Hoyle, ca și în prima, evenimamentele inițiale continuă să se producă la o scară fantastic de mare: mai mult de o sută de milioane de ani-lumină ca diametru pentru condensările primare, cele care se formează direct din gazul original, fiecare conținând materia a o sută de mii de galaxii, adică a mii de miliarde de stele. În acest caz, mecanismul condensării depinde în esență de viteza de răcire a gazului prin radiație, iar posibilitatea existenței sale este determinată de formula care leagă radiația hidrogenului ionizat de temperatura și de densitatea sa. Or, la o temperatură de zece milioane de grade și pentru o densitate de 10^{-27} g/cm³, răcirea se poate produce cu o viteză destul de mare pentru ca procesul de condensare să se declanșeze și să se accelereze pînă la a deveni „catastrofic”.

Din păcate, această valoare a densității nu poate corespunde celei a gazului original și acest frumos mecanism nu poate interveni decît în cel de-al doilea stadiu al condensării. Într-adevăr, valoarea empirică a densității cosmologice dată de Oort, 10^{-31} g/cm³, și chiar și valoarea calculată de către Hoyle pornind de la teoria sa a generării, 10^{-29} g/cm³, sînt foarte mici și nu sînt adecvate procesului de răcire directă. În consecință, Hoyle consideră că ar trebui imaginat un mecanism diferit, de tip dinamic, mișcări de ansamblu ale materiei primare, care ar rezulta dintr-o interacțiune termodinamică între gazul „rece” al galaxiilor condensate și gazul cosmologic „cald”. O „mașină termică” extrem de puternică și cu un „randament” remarcabil ar absorbi excesul de energie al gazului cald. Ceea ce face ca această explicație să fie atrăgătoare este faptul că ea oferă dintr-o dată o sursă capabilă să furnizeze cantitățile enorme de energie implicate de anumite fenomene observate, ca radiațiile cosmice de energie foarte înaltă și emisiunile radiosurselor. Explicarea acestor fenomene se lovește de obicei tocmai de problema energiei.

Hoyle acordă deci cu această ocazie radiațiilor cosmice o semnificație cosmologică comparabilă celei pe care vroia să le-o confere Lemaitre, semnificație de care progresele cunoștințelor păreau să le lipsească. Pentru el, într-adevăr, nu există limită superioară pentru spectrul de energie al radiațiilor cosmice. Pentru explicarea energiei celor mai rapide dintre ele nu ar fi suficiente efectele pur galactice; accelerarea lor trebuie să rezulte dintr-un „efect dinam” al materiei intergalactice. Formate în stele, accelerate în galaxii, injectate în mediul cosmologic atunci când ating o anumită energie, radiațiile cosmice pot să se accelereze aici indefinit. Nici una dintre ele nu poate fi, ca în cosmogonia lui Lemaitre, „la fel de veche ca și lumea”, pentru că lumea nu are „vîrstă”, dar cele care ajung să moară în atmosfera terestră, declanșînd cascade de catastrofe nucleare, ale căror urme sînt studiate în laboratoare, pot fi oricît de vechi am dori (vechi după calendarele noastre, căci traiectoriile lor spațio-temporale fiind mult diferite de geodezicele lui Weyl, timpul lor propriu nu este timpul cosmic).

Și mai recent, în urma progreselor radioastronomiei, date fiind mai ales rezultatele primelor numărători sistematice făcute în funcție de intensitatea radiosurselor¹, Hoyle, în colaborare cu J. V. Narlikar, a dat o nouă dezvoltare teoriei sale cosmogonice². Această revizuire este direct motivată de discordanța constatată de către Ryle și radioastronomii de la Cambridge, între rezultatele observațiilor și prevederile teoriei stării staționare referitoare la relația număr-intensitate pentru radiosurse. Dar acesta nu a fost probabil singurul motiv, iar încercarea lui Hoyle și Narlikar este cu totul altceva decît o simplă ajustare.

Dealtfel, trebuie să ne ferim de a considera rezultatele lui Ryle ca definitive, date fiind dificultățile de tot felul pe care le ridică studiul empiric al radiosurselor; ele sînt contestate de alți radioastronomi chiar pe plan tehnic. Noua încercare a lui Hoyle nu trebuie deci considerată numai ca o încercare de potrivire între teoria sa și rezultatele investigațiilor radioastronomice, ci și ca o continuare naturală a speculațiilor sale anterioare în spiritul cosmogoniei Universului staționar. Mai ales sub acest aspect este interesantă pentru noi.

Discuția este concentrată în jurul modalităților de grupare spațială a galaxiilor și al corelării lor după vîrstă. Cosmogonia lui

¹ Vezi mai jos, p. 407. După observațiile lui Ryle, numărul de radiosurse crește *mai repede*, pe măsură ce intensitatea lor scade, decît într-un spațiu euclidian static. După T.S.S., ar trebui să crească *mai puțin repede*.

² *On the Counting of Radio-Sources in the Steady State Cosmology*, M.N.R.A.S., 1961, p. 123.

Hoyle s-a bazat întotdeauna pe principiul ierarhiei condensărilor și, pentru că există o evidentă discontinuitate în distribuția structurilor locale și regionale, este natural să se presupună că grupările după vîrstă sînt în corelație cu grupările spațiale. Ipoteze de acest fel au jucat întotdeauna un anumit rol în raționamentele cosmogonice ale lui Hoyle și pot furniza un răspuns natural problemelor puse de radioastronomie :

Dacă fenomenul de „radiosursă” se produce mai frecvent la o epocă determinată în istoria galaxiilor, deci a unei grupări de galaxii aflate în corelație de vîrstă, pentru observatorul uman va exista o anumită zonă spațio-temporală deosebit de bogată în radiosurse. Pe măsură ce observațiile se vor apropia de această zonă, numărul de radiosurse detectate va crește mai repede decît dacă ele ar fi uniform distribuite într-un spațiu-timp staționar.

Hoyle crede așadar că poate satisface condițiile impuse de numărătorile actuale postulînd :

a. existența unor condensări primare, care ar conține materia a o sută de mii de galaxii și ar fi inițial repartizate în sfere de treizeci de milioane de parseci (aproximativ o sută de milioane de ani-lumină); toate galaxiile formate prin fragmentările succesive ale acestor condensări primare ar fi în corelație de vîrstă;

b. probabilitatea ca o galaxie să fie o radiosursă este înmulțită cu o sută atunci cînd vîrsta acestei galaxii este cuprinsă între $\frac{1}{H}$ și $2,5 \left(\frac{1}{H} \right)$, adică între 13 — 33 de miliarde de ani dacă folosim pentru H estimările lui Sandage. Pînă aici nu se presupune nimic altceva decît reînnoirea marilor procese genetice la intervale egale cu $\frac{1}{3H}$ (aproximativ 4,5 miliarde de ani).

Această discontinuitate temporală „primară” a „generațiilor” a jucat întotdeauna un rol important în cosmogonia lui Hoyle.

Ceea ce este nou în această privință în memoriul lui Hoyle și Narlikar este impunerea unei condiții de grupare secundară spre vîrfurile structurii ierarhice, și anume : expansiunea rețelei cubice formate de condensări și cea a condensărilor înseși se face în așa fel încît raportul dintre diametrul condensării și distanța dintre centrul condensării și centrul rețelei rămîne constant și egal cu $\frac{1}{3}$. De aici rezultă restricții cu privire la dezordinea rețelelor primare din generații succesive și la probabilitatea ca un observator oarecare să se afle situat într-o rețea din prima,

a 2-a, a 3-a, ..., a n -a... generație. Mulțimea unităților de rețea în care se află simultan un observator oarecare formează atunci o submulțime infinită în mulțimea numerelor întregi. Datorită expansiunii, însă, densitatea spațială a unei rețele din a n -a generație descrește ca e^{-n} . În imediata vecinătate a observatorului,

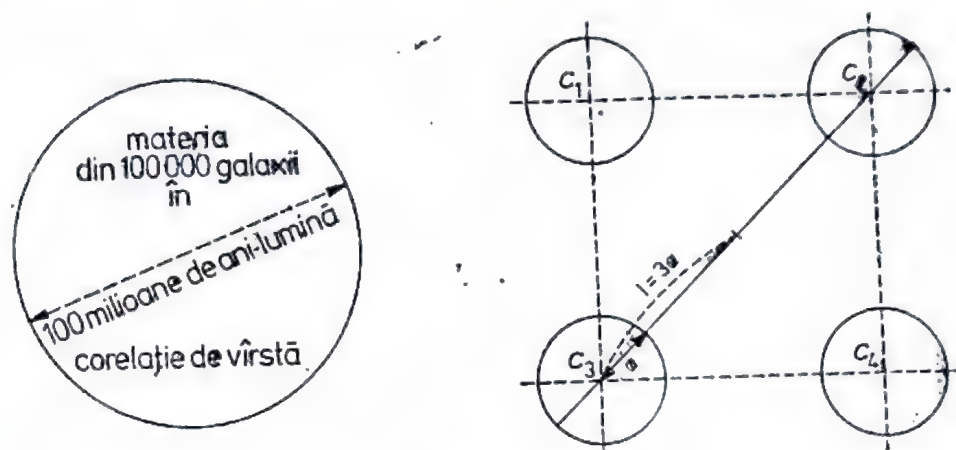


Fig. 2

principala contribuție în galaxii este dată de valoarea cea mai mică a lui n din submulțime.

Vîrsta celor mai bătrîne stele din Galaxie fiind de ordinul a 15 miliarde de ani, să spunem $\frac{4}{3} \left(\frac{1}{H} \right)$, noi ne aflăm într-o unitate

de rețea din cea de-a șasea generație, poate în sisteme ceva mai tinere, dar în mod sigur în sisteme mai bătrîne dar mai dispersate, care însă nu aduc decît o slabă contribuție la densitatea în galaxii a spațiului din vecinătatea noastră. Faptul că observatorul uman are anumite proprietăți fizice fără de care el nu ar putea exista ca observator face absolut necesar ca el să se găsească într-o rețea avînd cel puțin o anumită vîrstă: ținînd cont de timpul necesar pentru condensare, nu pot exista stele decît în galaxiile din cea de-a doua generație.

În teoria lui Hoyle, *formarea elementelor* nu poate avea loc decît în stele și modalitățile de formare sînt strîns legate de etapele evoluției stelare. Raportată la schema cosmogonică de ansamblu, ea este deci asociată stadiilor ultime ale fragmentării condensărilor primare. Dar galaxiile continuă să evolueze indefinit și, cum structura lor internă nu este afectată de expansiune, se poate produce o suită evasiciclică de dispersări și de condensări, exploziile stelare proiectînd în spațiu materialele adunate prin condensarea stelei,

făcându-le astfel disponibile pentru noi procese de condensare, odată cu materia tinăra.

Nu este vorba totuși de adevărate cicluri. În teoria stării staționare — și tocmai în aceasta constă originalitatea teoriei — lumea este staționară, dar numai la scară mare, în timp ce structurile locale evoluează ireversibil și indefinit, o parte din masa condensată rămânând indefinit prizoniera propriei sale gravitații în stelele ajunse la capătul drumului lor. Pe de altă parte, materia restituită mediului interstelar de către stele este diferită de hidrogenul original. Ea conține elemente care s-au format în stele. În interiorul unei galaxii, compoziția stelelor se modifică de la o generație la alta. Stelele formate cel mai recent conțin elemente care lipseau în stelele formate la început.

Cît despre teoria formării elementelor în stele, ea este acum independentă de teoria stării staționare, fiind opera comună a numeroși astrofizicieni¹. Ea este extrem de complicată, mult mai complicată decît cea a lui Alpher, Hermann și Gamow. Ea nu pleacă, în principiu, de la nici o ipoteză cosmologică sau cosmogonică specială și leagă nucleogeneza de fenomenele stelare observate. Fără îndoială, prin aceasta se explică preferința lumii științifice pentru această teorie. Ea are în schimb inconvenientul de a nu oferi o explicație directă și simplă a curbei empirice a abundențelor cosmice.

Pentru edificarea acestei teorii trebuie folosit întregul aparat al fizicii stelare și al fizicii nucleare. Procesele pe care ea le implică sînt atît de diferite încît fac imposibilă orice încercare de prezentare simplă și ordonată. Ar trebui făcută o analiză în detaliu pe grupe de atomi și tipuri de reacții. Ne vom mărgini aici la cîteva indicații sumare :

Lăsînd la o parte reacțiile elementare care duc la sinteza heliului și care au loc în lunga perioadă de stabilitate a stelelor, geneza nucleelor nu se produce decît în fazele tîrzii ale evoluției stelare, cele mai dificil de descris, cele mai puțin cunoscute, acelea care oferă cele mai puține prilejuri pentru observarea directă.

Consumarea hidrogenului în centrul stelei marchează în istoria sa începutul instabilității. Reluarea condensării în centru este însoțită de o creștere considerabilă a temperaturii, „aprinderea”

¹ Expunerea completă a teoriei, în starea în care se afla în 1957, este dată într-un articol foarte lung semnat de E. M. și G. R. BURBIDGE, W. FOWLER, F. HOYLE, *Synthesis of the Elements in Stars*, Rev. Mod. Phys., 29, 1957, pp. 446—560. O expunere succintă, dar precisă, însoțită de o schemă generală a evoluției stelare, este dată de J. G. Greenstein, în *Stellar Evolution and the Origin of Chemical Elements*, American Scientist, 49, 4, 1961, pp. 449—473.

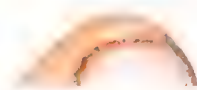
nucleară a heliului, dilatarea astrului și scăderea temperaturii sale la suprafață, în timp ce temperatura internă continuă să crească. Steaua trece în stadiul de „gigantă roșie”. Succesiv se întrunesc condițiile necesare formării tuturor elementelor ușoare pînă la oxigen.

În jurul temperaturii de o sută de milioane de grade, anumite reacții dau naștere la neutroni, inaugurînd un tip de reacție cu totul nou, prin care, ca și în teoria lui Gamow, ar trebui să se explice sinteza nucleelor grele. Stabilitatea foarte mare a nucleelor din grupa fierului explică acumularea de elemente de acest fel, care se traduce pe curba empirică a abundențelor printr-un „pic” binecunoscut și foarte caracteristic. Dar oricît de stabile ar fi, aceste nuclee pot totuși să capteze neutroni, astfel încît constituirea de nuclee grele poate să continue.

Procesul este totuși extrem de îndelungat în „gigantele roșii” și chimia spontană a stelelor nu ar ajunge la capăt dacă nu ar interveni catastrofele, favorizînd-o mult într-un timp foarte scurt, prin modificarea în proporții enorme a timpului necesar „coacerii”. În timpul exploziei unei supernove, un proces care ar fi cerut mii de ani în era precatastrofică se poate încheia în cîteva ore. Cosmogonia explozivă își recapătă aici drepturile și se vede cum contrastul dintre scările de timp, atît de frapant în istoria Universului după Gamow, se regăsește în istoria stelelor.

Aceste catastrofe contribuie de asemenea în mare măsură la repunerea în circuitul cosmogonic a elementelor nou formate. Ejecția de materie ca rezultat al exploziilor supernovelor este un fapt de observație, așa cum este și deosebirea de compoziție în elemente grele a stelelor din Galaxie. Lucrul acesta, după cum am văzut, poate fi explicat destul de simplu în teoria lui Hoyle prin data formării stelelor în istoria Galaxiei, pentru că odată cu fiecare generație, mediul interstelar, compus la origine exclusiv din hidrogen, se îmbogățește în elemente grele.

Există de exemplu o întreagă clasă de stele, numite „subpitice” datorită poziției punctelor lor reprezentative, aflate sub ramura piticelor pe diagrama empirică culoare-strălucire, care stă la baza tuturor inducțiilor astrofizice. Conținutul în metale al acestor stele este deosebit de mic, de la 10% pînă la 0,5% din cel al Soarelui. Se presupune că ele s-au format în primul miliard de ani de viață a Galaxiei, atunci cînd numai puține gigante roșii și supernove avuseseră timpul să răspîndească în spațiu elemente grele. Se remarcă totuși că abundențele relative ale diferitelor



metale nu diferă de valoarea lor în Soare, ceea ce sugerează că la începutul istoriei galactice contribuția la mediul interstelar a stelelor cu evoluție rapidă, astăzi dispărute, era în esență de aceeași natură cu cea a unor stele comparabile de astăzi.

IV. Ideile cosmogonice ale lui Victor Ambarțumian

La prima vedere, teoriile cosmogonice ale astronomului sovietic Victor Ambarțumian par cu totul opuse, mai curînd în spiritul lor decît în conținut, celor pe care le-am evocat pînă aici¹. Mai întîi, pentru Ambarțumian, unitatea cosmologică nu este decît un mit sau o „simplificare grosieră”: dacă vorbim de regiunile explorate ale Universului, trebuie să le numim pur și simplu „Metagalaxie” și nu „Univers”. Dealtfel, ipoteza omogenității, pe care se sprijină teoriile cosmologice, nu are nici măcar valoare aproximativă în raport cu datele actuale de observație. Nu numai că variațiile de densitate în partea cunoscută a lumii sînt enorme, dar observația optică și radioastronomia îmbogățesc fără încetare diversitatea calitativă a galaxiilor.

Absența unității cosmologice antrenează *ipso facto* vanitatea unei reprezentări cosmogonice unitare și exclude în orice caz „schema imaginară” a unui Univers în expansiune (cu toate că, la drept vorbind, această consecință este puțin explicită la Ambarțumian). Este evident că, pentru Ambarțumian, ideea unei stări inițiale a Universului trebuie pusă pe seama consecințelor iluzorii pe care „fideismul” le trage din descoperirile noi și încă prost delimitate ale științei, ceea ce „ține de domeniul predicatorilor”.

Pentru Ambarțumian nu poate fi vorba nici de o apropiere între epistemologie și cosmologie. Aceasta ar fi pur și simplu o dovadă de „idealism”.

De fapt, Ambarțumian nu a propus niciodată vreun model de univers (chiar neomogen), nici vreo cosmogonie unitară. Cercetările sale s-au referit exclusiv, pînă în prezent, la formarea stelelor și a roiurilor de stele, apoi a galaxiilor și a roiurilor de galaxii. El nu pare să se fi interesat direct nici de geneza speciilor atomice și nici de formarea sistemelor planetare.

El admite totuși că, cu toată eterogenitatea, incertitudinea în privința distanțelor sau dispersia vitezelor, „ansamblul roiurilor de galaxii bogate, repartizat într-un anumit spațiu din jurul nostru, se dilată aproximativ în mod izotrop și omogen”².

¹ Ambarțumian își expune clar și cu vigoare principiile în *La Méthode en Cosmologie*, în *Le Cosmos, Recherches Internationales*, 14—15, 1959, pp. 22—41.

² *Mem. cit.*, p. 31.

Începînd din 1958 Ambarțumian consideră expansiunea Meta-galaxiei ca un lucru sigur și admite că acest fenomen poate fi interpretat cu ajutorul anumitor soluții ale ecuațiilor einsteiniene ale gravitației, important fiind „să se aprecieze așa cum trebuie” semnificația acestor soluții. În particular, precizează Ambarțumian, soluțiile lui Friedman se află „...incontestabil în relație directă cu expansiunea galaxiilor care ne înconjură”, în ciuda condițiilor ideale și imaginare pe care ele le presupun pentru Univers. Totuși, pentru a obține o imagine „mai concretă” a expansiunii, ar trebui introduse condiții inițiale mai conforme cu starea reală a sistemului cosmic din care facem parte și, conchide Ambarțumian, „această muncă dificilă urmează a fi făcută”. Este însă clar că rezultatul nu poate fi cunoscut înainte ca ea să fie îndeplinită și că, pe de altă parte, nu postulatul omogenității este răspunzător pentru închiderea spațiului în anumite soluții ale ecuației lui Friedman... Dealtfel, dacă citim cu atenție articolul (citât mai sus) din care au fost extrase aceste remarci, vedem că Ambarțumian își îndreaptă criticile nu atît asupra modelelor de univers, cît asupra deducțiilor „idealiste” la care ele au dat naștere. Fără îndoială, Ambarțumian are rezerve în precizarea tipului de structură cosmologică pe care îl concepe drept cadru pentru teoriile sale cosmogonice. Cu toate acestea, situîndu-le în principiu în perspectiva teoriei relativității generalizate, el pătrunde în domeniul filozofic în care se mișcă toți cosmologii secolului al XX-lea. Ca un adevărat cosmogonist, el vede în marxism mai ales o filozofie a devenirii : ceea ce reține el în primul rînd, din punct de vedere metodologic, din învățătura lui Marx, este că cunoașterea profundă a fenomenelor constă în cunoașterea transformărilor lor. Din punctul de vedere al cunoașterii Universului, rezultă maxima citată deja :

„Problema cosmogonică este problema fundamentală a astronomiei și a astrofizicii. Orice problemă particulară, dar a cărei semnificație se extinde și asupra principiilor, va căpăta deci inevitabil un sens cosmogonic chiar în cursul rezolvării ei”.

Nu este vorba de o simplă declarație de principiu, ci de o adevărată regulă metodică, care ghidează efectiv munca științifică a lui Ambarțumian, în care putem vedea pe unul din reprezentanții cei mai tipici ai gîndirii cosmogonice a secolului al XX-lea.

Gîndirea lui Ambarțumian este destul de apropiată de cea a altor cosmogoniști ai secolului nostru, în măsura în care el vede structurile cosmice în perspectiva devenirii. Cosmologia relativistă întinerea Universul; Ambarțumian nu vrea să audă de „vîrsta” Universului, dar el întinerește stelele, grupurile de

stele, galaxiile; pretutindeni el caută și găsește semnele unei evoluții rapide, deseori expansive, chiar explozive. Cu toate că el se ferește de orice speculație cu privire la totalitate și crede în diversitatea calitativă infinită a Universului, gândirea sa este totuși în mod natural amplificatoare, sintetică și exclude o viziune strict analitică a unor fenomene parțiale, o comportamentare a domeniilor de cercetare. Dacă el a dat un impuls indiscutabil cercetărilor astrofizice, atât în țara sa cât și în străinătate, aceasta se datorește faptului că a refuzat chiar de la început să privească problema fizicii și evoluției stelelor, pe de o parte, și cea a grupărilor lor și a mișcărilor în spațiu, pe de alta, ca două probleme separate. În sfârșit, dacă urmărim istoria operei sale, trecerea de la domeniul stelelor la cel al galaxiilor este caracteristică pentru o gândire a cărei intenție este profund cosmologică.

Dacă rămân deosebiri importante între stilul cosmogonic al lui Ambarțumian și cel al concurenților săi „occidentali”, acestea decurg în definitiv poate mai puțin din ideologie, cât din metodologie. Ambarțumian este un adevărat empirist, și aceasta mai mult prin practica sa decât prin declarațiile explicite. După el, cunoașterea nu se poate îmbogăți decât prin observație. Important este în primul rând să se folosească orice informație dobândită, să se preia efectiv tot ceea ce realitatea cosmică a putut dezvălui cu privire la ea. Acesta este motivul pentru care Ambarțumian și colaboratorii săi au putut fi văzuți scrutând deseori mai cu atenție chiar decât astronomii americani fotografiile de la Mount Palomar. În anumite cazuri trebuie de asemenea să știi să aștepti ca observațiile să se îmbogățească. Trebuie mai ales să interpretezi observația, punând la încercare ipotezele plauzibile printr-o confruntare atentă cu toate datele dobândite și accesibile. Ambarțumian excelează în acest gen de muncă, este un virtuoz al inducției cauzale. Articolul său referitor la evoluția galaxiilor¹ ar putea servi drept paradigmă *Logicii* lui Stuart Mill și de model pentru orice cercetare inductivă (ai crede uneori că citești mai curînd articolul unui arheolog sau al unui istoric decât al unui astronom).

În schimb, Ambarțumian nu apreciază deloc metoda familiară astrofizicii moderne, cea pe care, printre alții, Eddington a ilustrat-o atât de strălucit — construirea, pornind de la câteva ipoteze simple, și într-o primă aproximație, în conformitate cu datele de observație, a unui model matematic de stea, roi de stele, galaxie, Univers,

¹ *On the Evolution of Galaxies*, în *La Structure et l'Évolution de l'Univers*, op. cit., pp. 241 — 273.

și explorarea deductivă a proprietăților sale fizice. Ambarțumian nu consideră această metodă fecundă și nu o practică¹.

Poziția sa față de problema cosmologică se explică în definitiv destul de bine prin combinarea filozofiei sale asupra naturii cu metodologia sa. Ambarțumian are prea mult respect față de observație și este prea convins că Universul este în devenire pentru a nu vedea în deplasarea spre roșu a nebuloaselor un fapt cosmic bine dovedit și semnul unei expansiuni fizice reale, dar are prea puțină stimă pentru metoda deductivă și are un gust prea viu pentru diversitate pentru a admite că aceasta ar putea fi interpretată corect în cadrul unui model cosmologic.

Cîteva considerații generale asupra conținutului operei științifice a lui Ambarțumian ne vor permite să precizăm întrucîtva poziția sa în mișcarea cosmogonică contemporană. Ambarțumian și-a fixat mai întîi atenția asupra problemei genezei stelelor și a adus în acest domeniu idei noi foarte importante. Apoi, după mai mulți ani, urmînd o mișcare a gîndirii care dezvăluie într-o oarecare măsură vocația sa cosmogonică, a încercat să aplice la galaxii unele ipoteze de lucru care modificaseră între timp în mare măsură perspectivele curente cu privire la geneza stelară.

Pornind de la observațiile făcute de către olandezul Pannekoek asupra repartiției stelelor foarte fierbinți în Galaxie, Ambarțumian a introdus noțiunea de *asociație stelară* și i-a dat o semnificație cosmogonică. Astronomia cunoștea de mult timp *roiurile* de stele, a căror grupare este numai spațială. Astrofizica, pe de altă parte, ajunsese după începutul secolului, prin observație spectroscopică, să claseze stelele după tipul lor fizic. O *asociație stelară*, în sensul școlii astronomice sovietice, este însă o grupare de stele strînse la un loc după ambele criterii în același timp. Căci asociațiile sînt formate din stele de același tip, mai ales din stele numite O, foarte strălucitoare și foarte albastre, foarte dispersate în spațiu, amestecate cu stele din cîmpul stelar general, astfel că gruparea lor geometrică nu iese în evidență imediat, ca în cazul roiurilor; ea poate fi totuși sesizată și confirmată în numeroase cazuri, prin prezența, în centrul asociației, a unui adevărat roi puțin dens, format din stele de același tip cu cele ale asociației.

Ideea cu adevărat originală a lui Ambarțumian a fost aceea de a da asociațiilor o semnificație genetică, de a le considera roiuri de stele de aceeași origine, provenite dintr-un proces unic și pe cale de a se dispersa rapid în spațiu. Cercetări minuțioase

¹ *La Méthode en Cosmogonie, mem. cit., în Le Cosmos, op. cit., p. 33.*

au permis astronomilor școlii sovietice să stabilească numeroase fapte în sprijinul acestei teze. În particular, ei s-au preocupat să arate existența unei legături fizice determinate între asociații și unele roiuri stelare, apoi între aceste roiuri și unele stele multiple, pentru a demonstra că toate aceste grupări la scări diferite ar reprezenta, în momente succesive ale evoluției lor, roiuri în care toate stelele s-au „născut” împreună și care se dispersează nu numai sub efectul forțelor exterioare (în special rotația diferențială a Galaxiei, care deformează asociațiile din momentul în care acestea ating anumite dimensiuni), dar și spontan, cel puțin în anumite cazuri, prin eliberarea unei energii interne pozitive acumulate în roi.

Astfel, după Ambarțumian, stelele se formează în grup și faptele stabilite îi par suficiente pentru a dovedi că aceasta este o lege generală a evoluției stelare (stelele ale căror proprietăți fizice exclud posibilitatea ca ele să fi apărut în asociații O, ar lua naștere în grupări de un alt gen, mult mai puțin strălucitoare, numite de către astronomii sovietici *asociații T*, datorită prezenței stelelor de tip T Tauri în aceste grupări). După Ambarțumian, sistemele fizice din care provin grupările stelare sînt puțin cunoscute. Acestea ar putea fi nebuloasele difuze, ale căror proprietăți fizice ne scapă în parte; energia lor este fără îndoială pozitivă — aceasta fiind una din ideile foarte importante în cosmogonia lui Ambarțumian. După el, astronomia stelară avusese prea multă încredere în ipoteza echilibrului sistemelor cosmice. Unele grupări stelare fuseseră în mod greșit considerate ca stabile. De fapt, este vorba de sisteme instabile, pe cale de dezagregare spontană. Este adevărat că ele sînt rare în câmpul observației deoarece, fiind *tinere*, evoluează rapid spre configurații mai stabile, deci mai durabile și mai ușor de observat. Cunoașterea lor este însă cu atît mai prețioasă, pentru că ele depun mărturie în favoarea unei activități creatoare neconținute, desfășurată de forțele cosmice¹.

Începînd cam din 1955, Ambarțumian extinde în continuare această metodă de interpretare și aceste idei directe la domeniul galaxiilor, printr-un procedeu de transpunere analogică suficient de suplu pentru a nu da, cînd este privit în detaliu, impresia unei generalizări artificiale². Această schimbare de scară l-a

¹ V. A. AMBARTUMIAN, *Discursul introductiv la Simpozionul U.A.I. cu privire la evoluția stelară* (în limba franceză), Roma, 1952. *Transactions of the I.A.U.*, Cambridge U.P., 1954, pp. 655—681. *Idem*, *On the Origin of Stars*, in *Les Processus nucléaires dans les astres*. Al V-lea Colocviu internațional de astrofizică, Liège, 1953, pp. 292—300.

² *Idem*, *On the Evolution of Galaxies*, in *La Structure et l'Évolution de l'Univers*, op. cit., pp. 241—673.

apropiat mult de domeniul de interes principal al cosmogoniei „occidentale”. Ideea de asociație stelară nu poate fi transpusă la domeniul intergalactic, pentru că clasificarea galaxiilor după tipul lor fizic este departe de a avea precizia clasificării stelelor. În schimb, ipoteza că structura observabilă a galaxiilor, mai ales a galaxiilor duble sau multiple și cea a roiurilor de galaxii, poate fi interpretată, în anumite cazuri, ca semnul unui proces de dezagregare, ba chiar ca indiciul unei origini comune a obiectelor astăzi diferențiate și dispersate, este foarte atent discutată de Ambartsumian și confruntată cu datele de observație. Deși constată că roiurile cu energie pozitivă, deci instabile, trebuie să fie mult mai rare în sistemul galaxiilor decât în cel al stelelor, el sesizează totuși numeroase indicii de dispersare rapidă, fie în roiuri, fie în galaxiile multiple. De exemplu, în anumite roiuri mari, cum ar fi cunoscutul roi Virgo, dispersia vitezelor este atât de mare încât indică un sistem pe cale de dezagregare. (Menționăm că și Lemaître dădea o semnificație cosmogonică acestei dispersii mari a vitezelor în roiurile mari). Mai mult, în ceea ce privește galaxiile multiple, Ambartsumian observă că, în ipoteza stabilității acestor sisteme, calculul maselor componentelor, efectuat după teoremele mecanicii statistice, dă în anumite cazuri valori sistematic mai mari decât valorile admise în medie pentru galaxiile cîmpului general. S-ar putea să fie vorba de o eroare sistematică, introdusă de ipoteza echilibrului, care conduce la o supraestimare a potențialului gravitațional¹. Pe de altă parte, Ambartsumian s-a situat pe o poziție contrară față de interpretările general admise ale unor fenomene importante descoperite recent în Universul metagalactic. Acesta este în special cazul radiosurselor, care pot fi identificate cu galaxii vizibile de structură anormală. Pe baza aspectului galaxiei din Cygnus, identificată ca o radiosursă puternică, s-a presupus mai întâi că emisia hertziană rezultă din ciocnirea a două galaxii. Ambartsumian, dimpotrivă, a văzut întotdeauna aici efectul „fisiunii” unui obiect unic la origine. Astăzi el poate fi mulțumit că a fost primul care a intuit corect: ipoteza ciocnirilor este privită cu un scepticism crescînd și tinde să cedeze locul unor presupuneri bazate pe explozie.

Pe de altă parte, Zwicky a descoperit, acum cîțiva ani, „punți de materie”, filamente slab luminoase între galaxiile vecine. Conform interpretării propuse de Zwicky și general admise, acest fenomen se datorește gravitației, care deformează, în direcția cîmpului, masele fluide, care se atrag reciproc, ca în cazul mareelor.

¹ *On the Evolution of Galaxies*, mem. cit., pp. 251 și 255.



Ambartumian contestă această interpretare. Calculul, dus pînă la capăt pentru un caz dat, îi dovedește că filamentul este mult prea fin. Raportul dintre lărgimea și lungimea filamentului este mult mai mare în cazul efectului mareic. În consecință, concludă Ambartumian, filamentul trebuie considerat ca ultima legătură care mai unește două galaxii formate prin diviziunea unui nucleu primar și care se găsesc în prezent pe cale de separare completă¹.

În sfîrșit, legătura dintre unele galaxii mari și „sateliții” lor mai mici, ba chiar structura internă a galaxiilor și, mai ales, forma spirală, s-ar putea explica în același mod, printr-un proces de diviziune a nucleului originar. Și în această privință, descoperirea recentă a exploziei nucleului galaxiei M82 aduce o confirmare strălucită intuițiilor lui Ambartumian.

Aplicată unor sisteme locale, dar pînă la urmă foarte vaste, viziunea cosmogonică pe care o găsim la Ambartumian este deci destul de înrudită cu viziunea sugerată de cosmologia relativistă nestaționară. Dezechilibru cosmic accentuat, predominare a mișcării de expansiune, „tinerețe” a formațiunilor cosmice observate. Ambartumian împărtășește, cu cosmogoniștii relativiști — împrejurare demnă de remarcat — o dificultate care pare a fi inerentă oricărei cosmogonii „explozive”: cea a punctului de pornire. Enigmaticii stări „superdense” a originii din cosmogonia relativistă, îi corespunde la Ambartumian o materie „protostelară” și „protogalaxii”, a căror stare fizică este cel puțin dificil de conceput și de descris. În orice caz, energia trebuie să fie aici extrem de condensată. Ca și Lemaitre în cazul „atomului primitiv”, Ambartumian este constrins într-o oarecare măsură să solicite ajutorul fizicii necunoscutului pentru a explica cum au putut fi concentrate, apoi eliberate, rezerve atît de mari de energie.

Aplicînd acestei probleme, ca și altora, metoda sa de cercetare inductivă, Ambartumian a căutat în anumite observații dovada indirectă că materia protostelară este sediul anumitor fenomene fizice necunoscute pînă în prezent.

Este vorba de stele variabile de diferite tipuri, descoperite destul de recent — T Tauri și UV Ceti — ale căror proprietăți diferă de proprietățile celor mai multe dintre stelele variabile cunoscute. Ele prezintă mai ales, cu totul neregulat și fără nici un fel de periodicitate, variații bruște de strălucire, dintre care unele nu durează mai mult de cîteva minute — incluzînd și reîntoarcerea la starea inițială². Aceste „fulgere” sau, cum le spun

¹ *On the Evolution of Galaxies*, *mem. cit.*, p. 262.

² La 24 octombrie 1942, steaua UV Ceti a prezentat timp de șapte secunde o variație de strălucire corespunzătoare unei multiplicări cu 4 a luminozității sale.

anglo-saxonii, *flares* sau *flashes*, îi intrigă mult pe astrofizicieni. Se admite deseori că aștrii în cauză sînt „tineri”, formați recent pornind de la nebuloasele difuze cu care sînt asociați, ceea ce nu putea să nu atragă atenția astronomilor sovietici. Întotdeauna precis în ceea ce privește punctul în care își aplică metoda, Ambarțumian își concentrează atenția asupra uneia din proprietățile remarcabile ale acestor stele, prezența în spectrul lor a unei emisii continue, uneori extrem de intense, asociată deseori, dar nu întotdeauna, „fulgerelor”. Discutînd ipotezele plauzibile asupra regiunilor astrului în care ar putea să se producă emisia, ca și asupra cauzelor sale, Ambarțumian conchide că ea trebuie să aibă loc în straturile exterioare ale stelei, dar că pune în joc rezerve de energie atît de mari încît ele nu pot proveni decît din interior, înainte de a fi eliberate: emisia este un fenomen „protostelar”. În plus, există motive să se creadă că ea este de origine nucleară. Dar, conchide el:

„Este dificil să se spună la ora actuală ceva precis cu privire la astfel de procese nucleare. Totuși, este foarte probabil că aceste procese de degenerare atomică să aibă loc nu în nuclee atomice microscopice de tip obișnuit, ci în formațiuni nucleare la scară macroscopică, adică în obiecte de o natură care ne este necunoscută pînă în prezent”¹.

Dacă facem apel la acest text, aceasta este numai pentru a sesiza un fel de ecou al vocii lui Lemaître și al celei a lui Gamow. „Atom primitiv”, *ylem*, proces protostelar necunoscut — logica cosmogoniei expansive conduce întotdeauna la presupuneri analoge. Fenomene nucleare la scară foarte mare, profund diferite, poate chiar într-un mod esențial, de cele pe care le cunoaștem și care sînt însoțite de o enormă eliberare de energie. Cît despre trecutul protostelei sau al protogalaxiei, el este tot atît de inaccesibil la Ambarțumian ca „era augustiniană” la Gamow...

Superioritatea construcției lui Ambarțumian constă în soliditatea legăturilor pe care el le stabilește între inducție și faptele observate. În același timp apar însă și limitele metodei sale, care îl împiedică să meargă mai departe. Metoda sa ar trebui să fie urmată de o metodă a modelelor, cum s-a întîmplat cu *ylem*-ul lui Gamow, dezvoltat mai apoi de Alpher și Hermann. Dar Ambarțumian nu pare să se fi preocupat de construirea unui model teoretic al materiei protostelare.

¹ V. A. AMBARTUMIAN, *Stars of T Tauri Type and the Phenomenon of Continuous Emission*, in *Non-Stable Stars*, Simpozionul nr. 3 al U.A.I., Dublin, 1955; editor G. A. Herbig, Cambridge U.P., 1955, p. 181.



Partea a patra

UNIVERSUL PENTRU OCHI ȘI
UNIVERSUL PENTRU SPIRIT

Capitolul X

COSMOLOGIA TEORETICĂ ȘI UNIVERSUL OBSERVAT

Cu tot caracterul său declarat speculativ, cosmologia rămîne înainte de toate o știință a naturii și confruntarea considerațiilor sale cu datele observației nu poate fi evitată, cu atît mai mult cu cît aceste considerații se referă nu la obiecte ideale și generale, ci la o existență reală și unică.

În această privință, ea se găsește încă într-o situație excepțională și, înainte de a examina dacă, și pînă în ce punct, observația astronomică și experiența fizică confirmă sau avantajează una sau alta dintre teoriile cosmologiei moderne, trebuie să ținem seama de acest lucru.

Fiind o știință a Universului fizic și neputînd exclude posibilitatea ca trăsăturile caracteristice ale acestui Univers să se manifeste direct în una sau alta dintre experiențele locale, cosmologia este implicată eventual — și Bondi, Gold, Sciama nu au greșit pretinzînd acest lucru — în orice observație asupra lumii, în orice experiență de laborator, căci oricare din aceste observații sau din aceste experiențe poate dezvălui, pentru cine știe să înțeleagă, cîteva lucruri esențiale cu privire la structura Cosmosului. Dar, în această privință, cosmologia nu poate să conducă ea însăși investigarea experimentală, pentru că nu poate spune dinainte care experiență ar putea să-i ofere informații — tot așa cum biologia nu putea să prevadă aprioric că o boală particulară a tutunului, una dintre multiplele boli care afectează nenumăratele specii vii, îi va deschide calea spre cîteva cunoștințe esențiale cu privire la procesele fundamentale ale vieții.

Cosmologia nu este nici măcar sigură că poate discerne dintr-o dată calea experimentală esențială. Cînd, în 1931, Jansky descoperă că o parte a „paraziților” din radiotelegrafie variază în ritmul zilei sidereale și își avea deci sursa dincolo de sistemul solar, nici un cosmolog nu și-a dat seama că viitorul științei sale era implicat în această treabă de tehnician și nici n-a știut să prevadă că,

treizeci de ani mai tirziu, el însuși sau emulii săi vor asculta cu aviditate „zgomotele” radioelectrice ale cerului.

Interesată aprioric de totul și de nimic în particular, cosmologia își are totuși domeniul său propriu de explorare empirică. Ea caută de preferință în observația astronomică — cea a obiectelor cunoscute ca fiind cele mai îndepărtate — informații de natură să-i îmbogățească sfera de cunoștințe sau să verifice valoarea ipotezelor sale. Dar chiar limitându-se la acest domeniu, natura faptelor pe care le cercetează o situează într-o poziție incomodă. Ea are nevoie mai ales de date globale, extinzându-se la tot cerul, sau cel puțin la regiuni foarte vaste. Dar această cerință intră într-un anumit fel în contradicție cu progresele naturale ale tehnicii instrumentale care, vizînd o precizie mai mare, ajung la o delimitare mai strictă a cîmpului observabil.

Acest contrast între exigențele panoramice ale cosmologiei și îngustarea cîmpului observației pe măsură ce precizia crește este cel mai bine ilustrat de faptul că telescoapele mari sînt instrumentele cele mai indispensabile cosmologiei și că, totuși, ele sînt incapabile să-i ofere exact ceea ce aceasta cere. Telescopul Hale, avînd un cîmp foarte îngust, este destinat numai explorării unor suprafețe extrem de limitate ale cerului, obținerii unei imagini cvasipunctuale din imensa panoramă cosmică care-i este oferită... virtual de puterea sa. Folosirea sa trebuie rezervată cîtorva sondări în profunzimile spațiu-timp-ului. Se trag concluzii folosindu-se treizeci de roiuri de galaxii, în timp ce, teoretic, telescopul Hale poate să vadă sute de mii. Desigur, sînt posibile compromisuri, datorită instrumentelor care împacă precizia cu întinderea, ca și datorită unor subtile metode de analiză statistică. Rezultă deci că, pentru cosmologie, observația trebuie să decidă asupra esențialului avînd la dispoziție foarte puține obiecte.

Aceste obiecte sînt, în general și aproape prin definiție, observate în condițiile cele mai proaste. Căci o altă caracteristică a cosmologiei este aceea că interesul său se îndreaptă de preferință spre limitele observabilului. Partea din Univers accesibilă privirii sau ascultării radioelectrice, oricît de imensă ar fi ea raportată la scara umană, este desigur mică raportată la scara cosmică. Oricum ar fi în realitate, pentru observație Cosmosul este infinit. Reapare deci de fiecare dată riscul ca dincolo de o anumită limită, adevărurile cele mai bine stabilite să se estompeze. Oricîte precauții am lua, nu poate fi depășit un inevitabil efect de selecție. La frontierele vizibilului apar numai obiectele cele mai strălucitoare și ești inevitabil condus la a confunda gigantul cu ființa medie. Faptele cele mai puțin sigure sînt considerate ca fiind cele mai semnifi-

cative și este foarte frapant să îi vezi pe cosmologi, în ciuda miilor de eșecuri, încăpățînîndu-se să sprijine afirmațiile cele mai fundamentale pe observațiile cel mai dificil de interpretat... Dar altceva ce-ar putea face?

Particularitățile epistemologice ale teoriei cosmologice moderne contribuie și ele la stabilirea unor relații excepționale cu observația. Ea se prezintă ca o teorie a spațiu-timpului și, în plus, ca o teorie dinamică, dacă se bazează pe ecuațiile lui Einstein sau pe legea lui Newton. Or măsurătorile efectuate de astronomie în regiuni îndepărtate nu sînt nici măsurători de timp (la scară cosmică observația este în ansamblul ei instantanee), nici măsurători de lungime (astronomia nu face niciodată astfel de măsurători), nici măsurători privind energiile mecanice. Trebuie deci ca, plecînd de la fotometrie, de la analiza spectrală, de la numărători, de la măsurători unghiulare instantanee, al căror rol rămîne încă foarte limitat, să se reconstituie indirect mărimile susceptibile să intre în ecuațiile cosmologiei teoretice. La drept vorbind, acest gen de problemă este bine cunoscut astronomiei, dar relațiile geometrice și fizice care servesc în astronomie pentru a se face legătura între mărimile măsurabile și mărimile teoretice nu mai sînt valabile în cosmologie, din cauza expansiunii și a eventualei curburi a spațiului, pentru a nu mai vorbi de alte forme — dacă există — ale evoluției cosmice globale. Trebuie deci să le corectăm prin tatonări sau prin introducerea unor ipoteze suplimentare, cu riscul evident al erorilor sau al cercului vicios.

Remarcile precedente nu trebuie să fie înțelese într-un sens sceptic, însă ele erau indispensabile pentru a face să se înțeleagă că în cosmologie observația decisivă, crucială, capabilă să tranșeze dezbaterea teoretică, să scoată în evidență o proprietate indiscutabilă a Universului cunoscut în ansamblul său, are foarte puține șanse să se producă. Extraordinar este chiar faptul că această observație s-a produs efectiv acum patruzeci de ani, că Universul metagalactic s-a dezvăluit în cîțiva ani, în condițiile pe care le-am amintit încă de la începutul lucrării prezente, cu caracteristici atît de nete și atît de neașteptate.

Miracolul nu s-a mai repetat după aceea. Telescopul Hale, marele telescop Schmidt de la Mount Palomar, funcționează de cincisprezece ani; ele au îmbogățit prodigios viziunea Universului îndepărtat, dar nu au tulburat-o. Cit despre radioastronomie, ale cărei prime rezultate confirmate păreau atît de promițătoare pentru cosmologie, nu știm încă exact la ce ne putem aștepta și ar fi excesiv să sperăm sau să ne temem de o nouă transformare a decorului cosmic. Într-un viitor mai îndepărtat și mai imprecis,

sateliții artificiali ai Pământului ¹ vor ajuta fără îndoială la depășirea unuia dintre marile obstacole ale observației astronomice: perturbarea de către atmosferă a radiației provenind de la aștri (tulburarea imaginilor, absorbția anumitor frecvențe, estomparea imaginilor de către luminozitatea cerului nocturn).

Sîntem în prezent în posesia elementelor necesare pentru a înțelege contrastul care domină confruntarea dintre cosmologia teoretică și observația astronomică, contrast care s-a accentuat de treizeci de ani încoace. S-a realizat totuși un acord care se consolidează neîncetat în privința cîtorva date, foarte puțin numeroase, dar cu adevărat cosmologice și de interes primordial, pentru că ele sînt suficiente pentru a schița fără echivoc cîteva dintre trăsăturile importante ale structurii Universului; le cunoaștem foarte bine. În schimb, atunci cînd vrem să precizăm, prin observație, tipul de model teoretic care convine cel mai bine reprezentării Universului real, să decidem dacă el trebuie considerat ca o soluție a ecuațiilor lui Einstein sau ca o formă fizico-geometrică determinabilă aprioric, înaintea oricărei teorii a forțelor fizice; sau, mai mult, în primul caz, cînd trebuie să alegem între toate tipurile de modele posibile și să obținem în consecință din observație informații cu privire la forma trecutului cosmic, sau la infinitatea spațiului, atunci problema întîmpină atîtea dificultăți încît faptele devin echivoce și interpretarea lor subiect de polemică. Se constată fluctuații surprinzătoare — de-a lungul anilor, după starea tehnicii experimentale și talentul teoreticienilor celor mai renumiți — care agită opinia științifică, aproape la fel de instabilă aici ca și moda literară, trecîndu-se de la spațiul finit la spațiul infinit, de la expansiunea accelerată la expansiunea încetinită, de la cosmogonia lentă la cosmogonia explozivă, sau viceversa.

Trăsăturile esențiale ale Universului la scară foarte mare au fost descoperite acum mai bine de treizeci de ani. Confirmarea lor după aceea, în ciuda cantității enorme de date noi acumulate, constituie un fapt a cărui importanță sîntem în mod natural înclinați să o subestimăm. Într-adevăr, consolidarea cunoștințelor frapează mai puțin decît descoperirea de fapte noi și fără îndoială mai puțin decît punerea în discuție a cunoștințelor dobîndite. Totuși, în 1948, în momentul în care intra în funcțiune telescopul Hale, nu lipseau cei care gîndeau și sperau că, odată cu noul tele-

¹ Deja s-au obținut rezultate remarcabile în studiul cu ajutorul aparaturii montate pe sateliți a unor obiecte cosmice care emit în domeniul radiațiilor infraroșii, ultraviolete, X și γ . — N. T.

scop, imaginea lumii avea să se schimbe din nou. Chiar și Tolman, după cum am spus, făcea parte dintre aceștia. Alții, mai sceptici decât el cu privire la valoarea cosmologiei teoretice, nu se îndoiau că construcțiile sale se vor prăbuși ca niște castele de nisip în momentul în care o observație mai extinsă avea să risipească aparențele pe care ei le considerau fragile și trecătoare. Până acum nu s-a întâmplat așa ceva. Acesta este un *fact* pe care trebuie să-l constatăm în mod expres, iar primele rezultate ale radioastronomiei nu dau de gândit că aceasta va distruge elementele dominante ale tabloului cosmic actual.

Aceste elemente corespund punct cu punct postulatelor cosmologiei robertsoniene, relativiste sau nu. Izotropia în distribuția galaxiilor și toate caracteristicile deplasării spre roșu confirmă ipoteza timpului cosmic, a unui spațiu de curbura constantă la timp cosmic constant, a unui *substratum* omogen de galaxii asimilabile unor particule parcurgând geodezicele lui Weyl. Ipotezele teoriilor relativiste contemporane care postulează existența „forfecării” sau a „ rotației ” fluidului cosmic nu au deci nici o justificare directă în observații — și este important să ne reamintim acest lucru. Deoarece aceste ipoteze se situează în cadrul teoriei relativității generalizate, anumite spirite sînt înclinate să le atribuie o semnificație mai pozitivă decât, de exemplu, teoriei stării staționare. Dar avem aici de-a face cu o judecată de valoare de origine epistemologică.

Singurul lucru stabilit pînă în prezent este că elementul de arc ds^2 al lui Robertson, orice interpretare i s-ar da, exprimă adecvat proprietățile observate ale Universului și că soluțiile $R(t) = \text{const}$ sînt incompatibile cu una dintre aceste proprietăți. Dacă rămînem aici, situația la mijlocul deceniului al șaptelea nu este esențial diferită de cea din 1930. Printre defectele majore ale cosmologiei robertsoniene — pe care le-am semnalat la timpul potrivit — există unul, existența a două elemente nedeterminate în expresia metricii — indicele curburii spațiale k și funcția $R(t)$ — pe care în principiu observația ar trebui să îl poată remedia. O poate face în prezent? Aceasta este problema pe care o vom examina acum.

Făcînd acest lucru, intrăm într-un domeniu nesigur și instabil, în care metodele devin complicate și întortocheate, în care părerile se înfruntă. Specificarea prin observație a metricii lui Robertson ar fi pentru cosmologie o operație de primă importanță, mai importantă chiar decât acum treizeci de ani. Într-adevăr, dacă ar fi posibil ca ea să fie efectuată complet și sigur, ar putea tranșa discuția asupra marilor tipuri de teorii cosmologice, pentru că teoriile deductive aleg aprioric valoarea lui k și forma lui $R(t)$, iar în cazul

teoriei stării staționare, ca și în cel al relativității cinematice, această alegere este incompatibilă cu ecuațiile lui Friedman aplicate unui Univers nevid. Ea ar putea de asemenea să decidă dacă Universul este staționar, fără a fi static, sau dacă este „istoric”. Din păcate, în starea actuală a lucrurilor, încercarea se dovedește extrem de delicată.

Metoda constă în a deduce relațiile care leagă mărimile măsurabile direct și necunoscutele care figurează în metrica lui Robertson. Lăsând elementul ds^2 în forma sa nedeterminată și presupunând numai că funcția $R(t)$ se poate dezvolta în serie Taylor în vecinătatea epocii cosmice actuale, se pun în evidență două combinații între cele trei mărimi numerice R_0 , \dot{R}_0 , \ddot{R}_0 (reprezentând valorile lui $R(t)$ și ale primelor sale două derivate în epoca cosmică actuală), combinații care apar în relațiile care se stabilesc între mărimile măsurabile¹. Aceste două combinații sînt: constanta lui Hubble,

$H_0 = \frac{\dot{R}_0}{R_0}$, care este gradientul unei viteze, adică inversul unui

timp, și parametrul de decelerare, $q_0 = -\frac{R_0 \ddot{R}_0}{\dot{R}_0^2}$, care este un

număr fizic adimensional. Folosirea ecuațiilor lui Friedman, care au inconvenientul de a postula valabilitatea relativității generalizate la scara cosmică și de a introduce o nouă necunoscută, Λ , conduce la relații suplimentare.

Ca punct de contact cu observația, dispunem de un anumit număr de mărimi pe care astronomia poate, în principiu, să le furnizeze: magnitudinile galaxiilor — sau densitățile de flux ale radiosurselor — diametrele aparente și distanțele unghiulare ale galaxiilor, ale roiurilor de galaxii și ale radiosurselor, deplasarea spre roșu a galaxiilor (dar nu și cea a radiosurselor), numărul de galaxii și de radiosurse situate într-o arie dată a sferei cerești, pînă la o magnitudine limită oarecare. Dispunem de asemenea de mărimea semiempirică ρ_0 , care măsoară densitatea medie a materiei în spațiu, în jurul epocii cosmice actuale — semiempirică pentru că ea este evident dedusă, nu măsurată, dar cu ajutorul unor ipoteze suficient de generale pentru a nu depinde în mod critic de necunoscutele cosmologice.

Această deducție este o problemă clasică în cosmologie, ceea ce nu o face mai simplă, și trebuie să remarcăm astăzi că, ori de cîte ori apare o nouă observație, această deducție este reluată, cu noi eforturi, de către autori aparent puțin satisfăcuți de ceea ce alții

¹ Vezi Anexa, XI, p. 492.

sau ei înșiși spusese¹ anterior. Aceasta este desigur o dovadă a dificultăților reale și profunde care țin, în parte, de motivele generale de care am vorbit. Pentru noi ar fi imposibil și, dealtfel, inutil să pătrundem în acest hățiș spinos, în care se îmbină inextricabil obstacolele tehnice, matematice și conceptuale.

Este totuși oportun, din punct de vedere epistemologic, să ne oprim puțin asupra unora dintre aceste obstacole și asupra mijloacelor de a le depăși. Vom reține două dintre ele. Primul ține de conceptul de *distanță*, iar celălalt, de existența unei evoluții fizice globale a galaxiilor, în intervalul de timp foarte lung care separă plecarea semnalelor luminoase de la galaxiile îndepărtate și sosirea lor în telescoapele terestre.

1. Odată cu problema *distanței*, cosmologia regăsește, agravate, consecințele binecunoscute ale unui punct slab congenital al astronomiei, care nu poate măsura direct nici o distanță și care trebuie ca, plecând de la măsurători făcute în două dimensiuni, să reconstituie un Univers care — fără a mai socoti și timpul — are trei. Poate că istoria acestei științe ar putea fi scrisă ca istoria unui lung și perseverent efort în vederea compensării acestei inferiorități — efort încununat de un extraordinar succes. Dealtfel, cosmologia ar fi neputincioasă dacă nu s-ar putea situa într-un fel în vârful unui edificiu solid construit, etaj cu etaj, în cursul secolelor. În astronomie orice distanță este dedusă, dar procedeele de măsurat și de deducere variază de la un etaj la altul. Pe măsură ce urcăm, ele devin din ce în ce mai puțin directe și geometrice, și din ce în ce mai indirecte și mai fizice. Măsurători de unghiuri și de timp la început, măsurători fotometrice și spectroscopice în prezent, cu adăugarea numărărilor și a metodelor de analiză statistică².

Oricât de moderne ar fi aceste procedee, atât timp cât conceptul de distanță este luat din geometria euclidiană și atât timp cât, pe de altă parte, ne bazăm, cu toate corecțiile ocazionale convenabile, pe legea în $\frac{1}{l^2}$ pentru a măsura raportul dintre energia radiată de o sursă și cea pe care o primește observatorul situat la distanța l , rămânem totuși în domeniul astronomiei tradiționale. Ceea ce se obține astfel este „distanța locală” (McVittie), măsura-

¹ Printre autorii cărora li se datorează discuții aprofundate, de la punerea în funcție a telescopului Hale, li amintim pe Robertson, McVittie, Sandage și Davidson; acesta din urmă pare să fi fost primul care a „regândit” întreaga problemă pentru radioastronomie.

² Vezi P. COUDERC, *L'Expansion de l'Univers*, op. cit., pp. 27—59.

bilă în unități terestre, prin racordarea succesivă a scărilor suprapuse.

Acest concept de „distanță locală” ne conduce foarte departe, mult dincolo de frontierele Galaxiei, dar măsurătorile decisive pentru cosmologie încep și mai departe, adică într-un domeniu în care definiția euclidiană a distanței trebuie să fie eventual modificată pentru a ține cont de curbura spațiului, în care, pe de altă parte, extincția radiației cu distanța nu mai ascultă de legea clasică din cauza deplasării spre roșu care absoarbe o parte apreciabilă din energia emisă. Distanței locale trebuie să i se substituie deci o „distanță-luminozitate”, care îi va lua locul în formulele ce dau legătura dintre mărimile observabile și mărimile geometrice.

Soluția depinde de ipoteza care se face cu privire la natura deplasării spre roșu, care intervine diferit în definiția „distanței-luminozitate”, după cum este considerată sau nu ca un efect cinematic. Această incertitudine a fost mult timp o dificultate pentru cosmologia empirică. Prima ipoteză fiind acum foarte general admisă, această definiție pare să se fi putut debarasa de orice ambiguitate. Dar exemplul acesta arată cât poate fi de îndepărtată de acum înainte practica efectivă a științei, cel puțin în domeniul cosmologiei, de această filozofie a sistemului metric, triumfătoare în secolul al XIX-lea, pentru care metrul și secunda erau entități fizice destul de sigure, palpabile și imuabile pentru a servi ca bază pentru orice aparat de măsurat și, prin aceasta, pentru întregul aparat de concepte al fizicii. Între *distanța* care separă liniile spectrale și care indică pe spectrogramă deplasarea spre roșu și *distanța* galaxiilor față de Pământ, care indică la rîndul ei deplasarea spre roșu, omonimia este îndepărtată; ea se bazează pe un aparat formal complicat și, pînă la urmă, pe convenții destul de fragile.

2. Cea de-a doua dificultate este mai gravă — și de nedepășit în mod riguros. Deoarece lumina se propagă repede, iar structurile cosmice evoluează lent, în raport cu unitățile umane, astronomia locală poate neglija întârzierea informației. Dar, la drept vorbind, astronomia depărtărilor observă de fapt Universul în cele *patru* dimensiuni ale *substratum*-ului metric, cu toate că nu poate face măsurători directe decît în cele *două* dimensiuni ale sferei cerești. Formulele cosmologiei teoretice pot prevedea rezultatele acestor măsurători, prin geometria spațiu-timp-ului. Această geometrie nu poate spune însă nimic despre devenirea *fizică* a existențelor cosmice singulare care, în mod sigur, suferă transformări a căror legătură cu expansiunea globală nu este încă bine stabilită. Vom vedea mai departe, referindu-ne la exemplul concret al unei încercări recente, cum încearcă cosmologia să ocolească obstacolul.

Din punctul acesta se deschid două căi de urmat pentru observație în vederea determinării valorii numerice a mărimilor care intră în relațiile teoretice ale cosmologiei : cea a astronomiei optice tradiționale și cea a radioastronomiei. Ni se pare mai comod să separăm cele două contribuții încă disparate.

A. Rezultatele astronomiei

Într-un studiu de sinteză publicat de revista *Astrophysical Journal* în 1961*, Allan Sandage, un astronom de la Mount Palomar, a cărui autoritate este necontestată, trecea în revistă toate testele posibile pe care observația astronomică le-ar putea aduce în favoarea cosmologiei și propunea câteva rezultate numerice, a căror valoare este destul de general acceptată. În ceea ce urmează ne vom sprijini în primul rînd pe acest studiu.

Între cele patru mărimi măsurabile de interes cosmologic — magnitudinea aparentă a galaxiilor, deplasarea lor spre roșu, diametrele unghiulare, sau distanțele unghiulare dintre ele, numărul lor într-o arie dată, pînă la o magnitudine dată — pot fi stabilite trei relații empirice care, în principiu, pot servi ca test pentru a discerne între diferitele modele, putîndu-se astfel calcula efectiv mărimile H_0 , q_0 și k^{**} .

a. O relație care leagă deplasarea spre roșu a unei galaxii, z , de magnitudinea sa aparentă, m , căreia i s-au aplicat toate corecțiile necesare.

b. O relație care dă numărul de galaxii N , numărate într-o arie dată a sferei cerești, pînă la o magnitudine dată, m , în funcție de această magnitudine.

c. O relație care leagă diametrul aparent al unei galaxii de z sau m .

Chiar cu telescopul de cinci metri, testul b este, după Sandage, practic inutilizabil și în această privință părerile par unanime. Erorile în determinarea magnitudinilor sînt prea mari pentru o definire utilă practic a magnitudinii limită pînă la care se numără. În plus, după McVittie, „operația de numărare a imaginilor gala-

* A. SANDAGE, *The Ability of the 200-Inch Telescope to Discriminate Between Selected World-Models*, *Astrophys. J.*, 133, 2, 1961, pp. 355—391.

** Vezi Anexa, IV, p. 455. Nu am dat relațiile în care figurează diametrul unghiular.

xiilor este obositoare și laborioasă, de unde consecința că numărările unui aceluiași observator, făcute pe un același clișeu, la momente diferite, pot să dea rezultate foarte diferite”¹. Dacă s-ar căuta pe această cale o soluție empirică a problemei cosmologice ar însemna deci, după Sandage, „să se irosească timpul telescopului”.

Această respingere unanimă și hotărâtă a metodei numărărilor invită la câteva considerații istorice. Căci, dispunând de instrumente cu o rază de acțiune mai mică decât telescopul Hale, Hubble crezuse că prin această metodă poate supune cosmologia unei probe decisive, de a cărei valoare nu părea să se îndoiască². Din faptul că rezultatele numărărilor sale nu erau în acord cu ecuațiile cosmologiei relativiste decât dacă se presupunea o curbura a spațiului neverosimil de mare, Hubble trăsese concluzia că Universul static și euclidian rămânea, în ciuda deplasării spre roșu, cea mai bună reprezentare geometrică a datelor de observație. Nu ne putem împiedica să ne gândim că astronomul de la Mount Wilson, care era un spirit clasic, ca și atâți alți mari descoperitori ai științei moderne, a fost poate victima, din aceleași motive, a aceluiași miraj care l-a făcut pe Einstein să vadă în Universul lui de Sitter o singularitate, iar în deducția ireproșabilă a lui Friedman, o eroare. În orice caz, prestigiul lui Hubble și al telescopului său era atât de mare, încât iluzia sa a avut asupra gândirii cosmologice influențe importante, despre care am vorbit.

Relația c , între diametrul aparent al galaxiilor sau al roiurilor de galaxii și deplasarea lor spre roșu, necesită o discuție mai complicată, în care trebuie să intervină distincția dintre diametrul metric al obiectului și cele ale contururilor izofotelor sale, corecția care trebuie adusă formulelor clasice nefiind aceeași în cele două cazuri. Concluzia lui Sandage este că cu ajutorul telescopului Hale este posibilă în principiu o măsurare a lui q_0 pe această bază, dar că testul ar fi „difil și poate secundar”.

Rămîne deci relația a , aceea dintre deplasarea spre roșu și magnitudinea aparentă. Într-o primă aproximație ea permite determinarea constantei H_0 , iar în cea de-a doua, determinarea lui q_0 . Folosind rezultatul măsurărilor făcute asupra obiectelor celor mai îndepărtate, Sandage reține ca posibile, mulțumită acestei relații, în afară de valoarea $H_0 = 75$ km pe secundă și pe milion

¹ G. C. McVITTIE, *Fact and Theory in Cosmology*, London, Eyre and Spottiswoode, 1961, p. 56.

² *The Realm of Nebulae*, op. cit., pp. 182–202.

de parseci $\left(\frac{1}{H_0} = 13,5 \text{ miliarde de ani}\right)$ — pe care o stabilise cu câțiva ani mai înainte — următoarele aproximații pentru q_0 :

$q_0 = 2,45 \pm 0,8$ (folosind măsurătorile lui Humason, Mayall și Sandage, 1956);

$q_0 = 1 \pm 0,5$ (folosind măsurătorile fotometrice ale lui Baum, 1957);

$q_0 = 1$ (folosind măsurătorile mai recente ale lui Baum, pe care le cunoștea, dar care nu au fost publicate decât mai târziu).

În această discuție Sandage nu ținuse cont de evoluția fizică a galaxiilor. El a încercat câteva luni mai târziu să umple această lacună într-un studiu caracteristic pentru empirismul subtil căruia îi este sortită cosmologia — atât de mîndră totuși de rigoarea sa conceptuală — din momentul în care ea a intrat sub cupolele astronomiei¹. Raționamentul lui Sandage este într-adevăr un model de „metodologie necarteziană”, pentru a parafraza formula binecunoscută a lui Bachelard.

Într-adevăr, trebuie găsit mai întîi, prin tatonare, un reper pentru a estima numeric, în luminozitate, evoluția acestei galaxii de referință tipice, care, în aproximația neevolutivă, intră în formule sub forma unei constante M , „magnitudinea absolută”, reprezentînd un debit de energie luminoasă care este presupus, global, constant². În acest punct intervine, într-o anumită măsură, astrofizica. Cunoștințele dobîndite cu privire la stele și la conținutul stelar al galaxiilor permit construirea unui *model* simplificat de galaxie în evoluție, dar, chiar înarmată cu acest model și cu legea sa diferențială de evoluție, problema rămîne nerezolvabilă riguros. Pentru a aplica magnitudinilor observate corecția de evoluție, ar trebui să cunoaștem timpul de evoluție, ceea ce implică cunoașterea lui q_0 , care depinde la rîndul său de magnitudinile corectate... Sandage o scoate la capăt intrînd în cerc: el folosește o metodă de aproximații succesive analoagă formal celei care, sub acest nume, permite rezolvarea clasică a unor probleme fundamentale ale analizei. Pornind de la valoarea de tatonare $q_0 = 1$, obținută de către Baum în ipoteza că galaxiile nu evoluează global într-un interval egal cu timpul de parcurs, el obține o primă corecție a magnitudinilor, care permite o evaluare modificată a lui q_0 și așa mai departe. Or valorile succesive astfel obținute converg spre o limită pe care Sandage o găsește, la a patra iterare, foarte

¹ *The Light Travel Time and the Evolutionary Correction of Magnitudes of Distant Galaxies*, Ap. J., 134, 1961, pp. 916—926.

² Vezi Anexa, XI, ec. 158.

apropiată de $q_0 = 0,2$. Pe lângă aceasta, el arată cât de „sensibile” sînt rezultatele la variațiile modelului de galaxii ales, ceea ce îndeamnă la prudență în evaluarea lui q_0 în absența unor cunoștințe mai precise cu privire la conținutul stelar al marilor sisteme de stele. Aceasta ilustrează de asemenea adevărul important și fundamental din dialectica teoriei stării staționare, după care orice concesie excesivă făcută devenirii riscă să facă să ne scape cunoașterea.

Dacă valoarea lui H_0 este nedeterminată în toate teoriile, nu același lucru se întîmplă cu valorile lui q_0 . În relativitatea cinematică, expansiunea este liniară și q_0 este nul. În teoria stării staționare q_0 este egal cu -1 . În cosmologia relativistă, valoarea lui q_0 depinde de modelul ales; ea este negativă pentru toate modelele în care expansiunea se accelerează în epoca actuală, cum este modelul Lemaitre-Eddington sau modelul lui Lemaitre; ea este pozitivă în cele în care expansiunea se încetinește, și în special în toate modelele care sînt soluții ale ecuațiilor lui Friedman cu $\Lambda = 0$; în particular, în modelul Einstein-de Sitter, $q_0 = \frac{1^*}{2}$.

Rămînînd la valorile lui Sandage, se impun două remarci:

a. q_0 este mic în valoare absolută; altfel spus, în epoca actuală expansiunea diferă foarte puțin de o expansiune liniară.

b. Pînă în prezent, toate estimările propuse pentru acest parametru sînt pozitive. Aceasta este o obiecție serioasă împotriva modelului teoriei stării staționare și, în cosmologia relativistă, împotriva modelelor Lemaitre-Eddington și Lemaitre, care s-au bucurat de o anumită apreciere pînă spre 1950. În schimb, este o indicație în favoarea modelului lui Einstein cu constantă cosmologică nulă, cu consecința supărătoare că expansiunea fiind în prezent în curs de încetinire, data singularității, care există în toate aceste modele, este situată la mai puțin de $\frac{1}{H_0}$ (evaluată la nouă miliarde de ani, dacă folosim modelul Einstein-de Sitter **).

Determinarea lui k , constanta curburii spațiale, este și mai nesigură decît cea a lui q_0 . Dacă renunțăm să folosim metoda numărărilor și metoda măsurărilor unghiulare, această determinare nu se poate face empiric decît prin aplicarea ecuațiilor lui Friedman, adică considerînd cosmologia ca o aplicație a relativității generalizate. Ecuațiile lui Friedman conțin însă și alte mărimi,

* Vezi Anexa, VI, ec. (63, 64, 67).

** Vezi Anexa, fig. III și IV.

care nu pot fi determinate total din observație, cum ar fi, pe de o parte, constanta cosmologică Λ și, pe de alta, presiunea și densitatea „fluidului cosmic” în epoca actuală, p_0 și ρ_0^* .

Pentru p_0 nu există nici o dificultate. Această mărime poate fi considerată nulă, avînd în vedere raritatea relativă a radiației față de a materiei și valoarea mică a vitezelor mecanice locale față de viteza luminii. Pentru ρ_0 este posibilă o estimare semiempirică dacă se cunoaște H_0 , pornind de la măsurătorile făcute într-o regiune a Universului suficient de vastă pentru a oferi un eșantion rezonabil și totuși suficient de restrînsă pentru a rămîne dincoace de limitele la care încep marile incertitudini. Un calcul al lui Oort, unanim acceptat, dădea, în 1958 **, valoarea minimă de $3,1 \cdot 10^{-31} \text{g/cm}^3$; Oort admitea că acest număr ar putea fi multiplicat cu zece „sau mai mult”. Este evident că o estimare empirică a densității nu poate da decît o limită inferioară, căci ea nu poate ține cont decît de materia vizibilă sau, cel puțin, de cea a cărei prezență produce efecte observabile. Or spațiile intergalactice sînt atît de vaste încît în ele ar putea exista enorme cantități de materie, dar într-o stare atît de rarefiată încît observatorului uman i-ar fi imposibil să le detecteze. Unde se află pragul dincolo de care materia „ascunsă” și-ar semnala cu necesitate prezența, sub o formă sau alta? În stadiul actual pare dificil a-l evalua cu oarecare precizie: în funcție de starea sa termică sau electrică, materia are, la densități egale, șanse foarte variabile de a se face cunoscută. În orice caz, dacă unii autori se mențin aproape de valoarea lui Oort, alții nu ezită să o multiplice cu o sută ¹.

Cît despre Λ nu este posibilă nici o determinare empirică și nu avem nimic de adăugat la ceea ce am spus la sfîrșitul capitolului III. Nedeterminarea valorii acestei constante rămîne astăzi, ca și acum treizeci de ani, principalul neajuns al cosmologiei relativiste. Acestea fiind spuse, sînt posibile două procedee pentru determinarea lui k aplicînd ecuațiile lui Friedman la epoca cosmică actuală:

* Vezi Anexa, V, ec. 57.

** *Distributions of Galaxies and the Density in the Universe*, în *La Structure et l'Évolution...*, op. cit., p. 163. Oort se sprijină pe numărările făcute pînă la mărimea $m = 18$, adică mult sub mărimea limită atinsă de telescopul Hale ($m = 23$); el admite formula clasică, cu valorile numerice ale lui Hubble pentru relația număr-mărime, și adoptă pentru H_0 valoarea lui Sandage.

¹ Spre exemplu, Bondi dă $5 \cdot 10^{-29} \text{g/cm}^3$ (*Cosmology*, op. cit., ed. a II-a, 1960, p. 46). În prima ediție, din 1952, el propunea chiar o valoare de o sută de ori mai mare.

a. Se hotărăște aprioric, pe baza principiului economiei conceptuale, că Λ este zero; în acest caz valoarea densității ρ_0 nu mai este independentă de cea a lui q_0 . Trebuie deci să se verifice compatibilitatea dintre cele două rezultate empirice, care de fapt poate fi considerată acceptabilă, avînd în vedere marile incertitudini legate de o estimare sau alta.

b. Se pleacă de la valoarea empirică a densității și, combinînd-o cu valorile lui q_0 , se încearcă să se obțină în același timp informații asupra lui Λ și k .

Aplicînd procedeul *a* cu valorile date de Sandage, Coudere¹ găsește $k < 0$, adică un spațiu infinit și neeuclidian; cu ajutorul metodei *b*, McVittie², luînd valori sensibil mai mari pentru H_0 și q_0 , ajunge la concluzia că $\Lambda < 0$ și $k < 0$; concluzia sa rămîne valabilă dacă se ia pentru ρ_0 o valoare de zece ori mai mare decît cea a lui Oort, iar pentru q_0 valoarea lui Sandage (în schimb, dacă se aplică procedeul *a* cu valorile pe care le-a luat McVittie pentru H_0 și q_0 , se obține o curbura pozitivă...).

În concluzie și ca un rezumat la cele spuse, dacă se confruntă în modul cel mai direct cu observația optică un model de univers structurat de o metrică robertsoniană, se constată că:

1. Deplasarea spre roșu a nebuloaselor exclude metricile statice și își găsește o explicație simplă, suficientă și, pentru moment, unică, în existența unei metrici în expansiune.

2. Toate investigațiile actuale indică pentru parametrul de decelerare q_0 o valoare care este (α) pozitivă și (β) mică în valoare absolută. Proprietatea (α) semnifică faptul că în epoca actuală expansiunea se încetinește. Aceasta este contrar prevederilor teoriei stării staționare și ale modelelor relativiste, care au conferit popularitate ideii de univers în expansiune acum treizeci de ani. Aceasta sugerează, în schimb, că Einstein avusese dreptate. Proprietatea (β) este confirmată în special de ultimele evaluări ale lui Sandage. Aceasta sugerează că expansiunea nu este departe de a fi liniară și că modelul în expansiune uniformă oferit de relativitatea cinematică este în orice caz o bună aproximație. Considerate împreună, proprietățile (α) și (β) arată că problema singu-

¹ *Des plus grandes distances aux plus grandes durées*, L'Astronomie, 76, 1962, p. 337.

² *Fact and Theory...*, op. cit., pp. 144—145. Publicarea acestei lucrări este anterioară celei a studiului lui Sandage.

larității cosmice, la o distanță relativ mică în trecut — cel mult egală cu treisprezece miliarde de ani — nu poate fi ocolită¹.

3. Determinarea lui k , care decide structura spațiului, este foarte nesigură, cu toate că datele actuale sugerează că spațiul ar fi hiperbolic și nu prea încurajează ipoteza finitistă, pe care se sprijiniseră Lemaître și Eddington. Această nedeterminare sugerează în orice caz că, chiar la scări foarte mari, geometria tradițională rămîne o aproximație foarte bună. Modelul lui Einstein-de Sitter prezintă sub acest raport un mare avantaj.

4. În ipotezele relativității generalizate, calculele lui McVittie duc la o valoare negativă pentru Λ ; trebuie deci avută în vedere posibilitatea unui Univers oscilant, căci toate soluțiile ecuației lui Friedman sînt periodice dacă $\Lambda < 0$.

În concluzie, ceea ce sugerează în prezent partea de observație astronomică legată cel mai direct de problema cosmologică este un Univers robertsonian, a cărui expansiune este în curs de încetinire slabă în epoca actuală, în care spațiul este infinit și foarte puțin diferit de spațiul euclidian la scara oricăror măsurători umane, chiar a celor mai îndepărtate, și care a trebuit să se găsească, acum cîteva miliarde de ani, într-o stare foarte diferită de cea în care îl vedem în prezent, stare caracterizată mai ales de o densitate foarte mare a materiei-energiei.

Oricît de restrînse ar fi, aceste concluzii rămîn fragile. Observații noi, doar cu puțin mai precise, pot să le modifice. Pentru a ne convinge de acest lucru să remarcăm, de exemplu, că în 1955, pe baza valorilor numerice considerate ca cele mai verosimile la acea epocă (telescopul Hale era de acum folosit de șase ani), Robertson considera că mult timp va fi imposibilă determinarea lui k și aprecia că în cosmologia relativistă era verosimilă o valoare pozitivă a lui Λ .

Mai mult, oricare ar fi valoarea observatorilor, a metodelor și a instrumentelor, putem să ne temem întotdeauna de apariția unor erori sistematice, așa cum s-a mai întîmplat în istoria relativ recentă a cercetărilor extragalactice. Cea mai „clasică” dintre aceste erori și cea mai dificil de evitat — pentru că ține de natura cosmologiei — constă în a atribui în mod fals proprietățile galaxiei tipice unei clase particulare de obiecte, care se impune insistent și abuziv, pentru că este mai ușor de observat. (Dacă, de exemplu, se consideră ca normală o galaxie care de fapt este deosebit de strălucitoare, se subestimează distanța sa.) Obiecția nu a scăpat de a fi adusă, pe drept sau pe nedrept, cercetărilor ale căror rezultate tocmai au fost expuse foarte pe scurt.

¹ Lucrul acesta a fost confirmat prin descoperirea radiației izotrope remanente de 2,7 K. — N.T.

B. Radioastronomia

Cu marile instrumente optice care se găsesc în prezent în funcțiune în lume și cu dispozitivele ultraperfecționate cu care sînt dotate, observarea Universului îndepărtat cu ajutorul luminii pare să fi atins un fel de palier care nu va fi depășit decît foarte lent. În schimb, radioastronomia este în plin avînt și optimismul în acest domeniu este mult încurajat de precedente strălucite. Într-adevăr, în mai puțin de douăzeci de ani, radiotelescoapele au rezolvat probleme astronomice de primă importanță, care depășeau posibilitățile tehnicilor optice: de exemplu, forma spirală a Galaxiei și dispunerea spirelor față de sensul de rotație.

Lăsînd la o parte radiația care provine din sistemul solar, partea cea mai ușor detectabilă a undelor radio de origine cosmică este o emisie continuă cu structură complexă, dar deosebit de intensă de-a lungul întregului plan galactic. Cauza acestei radiații este în afară de orice îndoială: ea provine din fenomene fizice diferite care se produc în materia difuză a Galaxiei și de aceea conține informații de primă importanță cu privire la structura sistemului galactic, dar nu prezintă interes direct pentru cosmologie.

Totuși, încă de la începuturile „ascultării” radioelectrice a cerului, nu au întîrziat să fie captate emisii de un tip diferit, iar generalitatea lor s-a confirmat pe măsură ce instrumentația s-a perfecționat. Pe fondul continuu se detașează surse de emisie mai mult sau mai puțin strict localizate. Au fost numite la început „radiostele” apoi, mai prudent, „radiosurse” atunci cînd s-a dovedit că probabil nu erau stele. În prezent studiul radiosurselor este suficient de avansat pentru a permite distingerea, esențială pentru cosmologie, a două clase de astfel de obiecte: sursele de tip I, situate în apropierea planului galactic și care ar fi obiecte interioare Galaxiei (nori de hidrogen ionizat, rămășițe ale exploziilor stelare), și sursele de tip II, repartizate pe întreaga boltă cerească, cele mai numeroase, care ar putea fi exterioare Galaxiei. Sînt ele într-adevăr? Sînt asimilabile galaxiilor? S-a discutat mult despre acest lucru, dar în prezent nu mai există nici o îndoială, izotropia distribuției lor fiind un argument care convinge ușor. Or caracterul cel mai remarcabil și cel mai neașteptat al radiosurselor dă naștere în același timp la cele mai mari speranțe și la cele mai mari dificultăți: cel mai adesea este imposibil ca ele să fie identificate cu obiecte detectabile optic¹.

¹ Pînă în prezent, au fost detectate mai multe mii de radiosurse. Dintre ele, numai cîteva zeci au fost identificate cu obiecte vizibile. (A. BOISCHOT, *Radio-Astronomie galactique et métagalactique*, în *L'Astronomie*, op. cit., p. 987.)

În privința motivelor acestei dificultăți părerile sînt încă împărțite : se poate da vina pe imprecizia în localizarea surselor în radioastronomie, imprecizie care rezultă din slaba putere de separare a radiotelescoapelor. Se pare însă că există și motive intrinseci. Identificarea optică a radiosurselor, cînd este posibilă, și, invers, explorarea sistematică, în gama radio, a galaxiilor celor mai strălucitoare optic au dus la concluzia că, dacă radiosursele sînt galaxii, este vorba de galaxii „anormale”, prezentînd particularități structurale care fac ca radiația lor radio să fie mult mai importantă în raport cu radiația lor luminoasă decît în cazul obișnuit. De exemplu, după una din interpretările propuse — și contestate — anumite radiosurse ar fi galaxii în ciocnire. Dacă o astfel de „ciocnire” are foarte puține șanse de a perturba radiația stelelor (acestea sînt atît de dispersate încît probabilitatea unei întîlniri directe este neglijabilă), ea poate în schimb să producă o serioasă turbulență în norii difuzi din galaxii. O astfel de agitație ar fi sursa unei emisii radioelectrice extrem de puternice. În prezent se ia mai puțin în considerație decît acum cîtiva ani ipoteza ciocnirilor. În orice caz, un proces fizic atît de grandios încît să transforme o galaxie în radiosursă nu poate fi decît o transformare cu totul excepțională în evoluția sa.

Tocmai lucrul acesta trezește interesul cosmologic : s-ar putea ca radiosursele neidentificate optic, adică marea lor majoritate, să fie galaxii extrem de îndepărtate, a căror radiație optică este prea slabă pentru a fi detectată chiar cu cele mai bune telescoape. Dispunînd de instrumente și de metode suficiente, radioastronomia ar putea să înlocuiască astronomia tradițională în observarea Universului îndepărtat și să împingă mai departe limita observabilului.

Cîteva rezultate, destul de recente, dar pe bună dreptate deja celebre, încurajează această interpretare. În 1959, mai multe observatoare radioastronomice semnalaseră o sursă într-un punct din constelația Bouarul în care nu fusese văzut nici un obiect pînă atunci ; după intensitatea sursei se putea presupune că, dacă era vorba de o galaxie, aceasta trebuie să fie extrem de îndepărtată. Telescopul Hale a fost îndreptat în această direcție și s-a descoperit un roi slab de galaxii. Cea mai strălucitoare dintre ele, de magnitudine 20,9, părea să fie radiosursa căutată. După o expunere de nouă ore, Minkowski reușește să obțină spectrul acestui astru extrem de slab. Era un record — ca și rezultatul, dealtfel : o deplasare spre roșu de 0,46, adică o viteză de recesiune de o sută treizeci și opt de mii de kilometri pe secundă,



și o distanță de ordinul a șase miliarde de ani-lumină¹. Măsurînd la rîndul său deplasarea spre roșu a acestui obiect prin metoda fotometrică descoperită de el, Baum obține un rezultat într-o concordanță remarcabilă cu cel al lui Minkowski : $z = 0,44 \pm 0,03$. Se dovedise deci că observația radioastronomică poate să ajungă cel puțin tot atît de departe ca observația optică, a cărei precizie deosebită era demonstrată în același timp.

Această frumoasă promisiune are totuși reversul său amar. În lipsa posibilității identificării unei radiosurse cu un obiect vizibil, radioastronomia nu dispune pentru moment de nici un mijloc de măsurare a distanței sursei, astfel încît nu este posibil să se facă direct nici măcar deosebirea dintre o sursă extragalactică și o sursă interioară Galaxiei. Pe de altă parte, detecția undelor radio comportă riscurile unor erori specifice, deosebit de mari pentru sursele slabe, erori care au falsificat în mare măsură rezultatele primelor investigații sistematice la scară mare. Pentru ca aceste riscuri să fie îndepărtate, pentru ca Universul radioastronomic să fie corect amplasat și să se racordeze exact cu Universul vizibil, vor fi necesare fără îndoială cercetări îndelungate și minuoase, precum și instrumente mai bune.

Va fi necesară de asemenea o cunoaștere mai precisă a naturii fizice a radiosurselor, pentru ca semnificația lor cosmologică să fie stabilită exact. Cosmologia empirică, căutînd înainte de toate o viziune panoramică a unor entități cosmice oarecare, are nevoie de un criteriu de banalitate. Pentru moment *galaxia* joacă de bine de rău rolul „omului oarecare” din Univers; va putea și *radiosursa* să joace acest rol? De fapt, așa cum am spus, radiosursele care sînt identificate optic sînt considerate mai curînd ca „anormale”. Trebuie deci cunoscută mai bine natura acestei „anomalii” și gradul ei de banalitate, pentru a acorda radiosurselor acest rol².

Identitatea fizică fundamentală dintre radiația radio și radiația luminoasă face ca în principiu aceleași relații să stea la baza unor teste pentru cosmologie, atît în radioastronomie cît și în astronomie. Dar, de fapt, diferențele sînt importante: relația *a* (deplasare spre roșu-magnitudine), esențială în astronomie, este pentru moment inaplicabilă pentru undele radio, unde nu este

¹ P. COUDERC, *Des plus grandes...*, art. cit., p. 332. Pentru a fixa idelle, precizăm că magnitudinea galaxiei în cauză este la limita accesibilității telescopului Hooker de 2,45 m de la Mount Wilson, care a fost principalul instrument al lui Hubble; telescopul Hale de 5,08 m atinge magnitudinea 23.

² Această constatare a fost confirmată de cercetările ulterioare, ceea ce a dus la abandonarea teoriei stării staționare. — N. T.

măsurabilă nici o deplasare spre roșu. Dimpotrivă, relația b (număr-magnitudine), a cărei utilizare este limitată în astronomie, stă în prezent — pe drept sau pe nedrept — la baza tuturor testelor radioastronomice. Pe de altă parte, structura radiației radio și, fără îndoială, scara sa de timp sînt diferite de cele ale radiației optice. Într-adevăr, în toate sursele metagalactice, sau presupuse astfel, radiația radio este vizibil netermică și distribuția energiei după frecvențe ascultă de o lege cu totul diferită de cea care este valabilă pentru radiația luminoasă a galaxiilor. S-ar putea, dealtfel, ca „luminozitatea” radiosurselor să evolueze mult mai repede decît luminozitatea galaxiilor. Toate aceste motive fac ca spinoasa problemă a relației dintre cosmologia teoretică și observație să fie pusă din nou în discuție, în această perspectivă, problemă de care se ocupă diverși autori, în special Davidson¹.

Din ultima numărătoare de radiosurse publicată, cea de la Cambridge din 1961, rezultă că numărul de radiosurse crește cu „magnitudinea” — adică pe măsură ce scade intensitatea — mai repede decît dacă radiosursele ar fi distribuite uniform într-un Univers static și euclidian și, cu atît mai mult, în Universul lui de Sitter. Această concluzie depinde de justetea diferitelor postulate cu privire la natura fizică a radiosurselor (postulate pe care susținătorii teoriei stării staționare nu sînt bineînțeles dispuși să le accepte fără critică). Autorii studiului ajung totuși la concluzia că cosmologia stării staționare este incompatibilă cu rezultatele lor². Davidson, care nu-și ascunde totuși preferința epistemologică pentru această teorie, ajunge la aceeași concluzie cu autorii numărătorii, dar, abordînd într-un fel problema de la cealaltă extremă, se întreabă în ce condiții un Univers robertsonian nestaționar ar putea fi compatibil cu numărătorile de la Cambridge. El deduce o condiție destul de strictă pentru scăderea puterii radiosurselor cu epoca cosmică. Admițînd apoi realitatea acestei scăderi, Davidson caută *potrivirea* cu numărătorile pentru modele „plate”

($k = 0$) și $R(t) = \text{const} \times t^n$, cu $\frac{1}{3} \leq n \leq \frac{2}{3}$. El găsește o

valoare puțin mai mică decît $\frac{2}{3}$, ceea ce readuce în atenție

o dată mai mult Universul lui Einstein-de Sitter și enigma originilor și a istoricității, asociată întregii clase de astfel de

¹ W. DAVIDSON, *The Cosmological Implications of the Recent Counts of Radio-Sources*, I: M.N.R.A.S., 123, 5, 1962, pp. 425—435; II: *Ibid.*, 124, 1962, pp. 79—93.

² M. RYLE, R. W. CLARKE, *An Examination of the S. S. Model in the Light of Some Recent Observations of Radio-Sources*, M.N.R.A.S., 122, 4, pp. 349—361.

modele și care capătă aici pur și simplu o nouă formă : provine oare fenomenul de radiosursă dintr-o transformare unică în istoria fiecărei galaxii, sau a unora dintre ele, în istoria — ea însăși unică — a „regatului nebuloaselor”?

Nu trebuie totuși să ne facem iluzii cu privire la precizia rezultatelor lui Davidson ; ea nu a fost obținută decât prin adăugarea, în raționament ca și în calcul, a unor diverse ipoteze de lucru. Pe de altă parte, concluziile lui Ryle și Clarke sînt contestate pe planul observațional de un alt radioastronom, Hanbury Brown, de la Jodrell Bank (Anglia), convins, din motive tehnice precise, că, pentru moment, în radioastronomie nu se poate acorda mai mult credit metodei numărărilor decât în astronomie¹. Diferite precedente invită în orice caz la prudență.

N-am putea vorbi deci pentru moment, nici măcar în sens limitat, de soluționarea problemei cosmologice prin observație. Mai întîi, observația nu decide dacă structura Universului trebuie considerată ca o determinare particulară a legii relativiste a gravitației, sau ca o formă geometrică și cinematică, independentă de orice teorie a forțelor fizice. Metrica lui Robertson, singura construcție teoretică verificată pînă în prezent în mod satisfăcător, este în acord în anumite condiții cu teoria relativității generalizate, dar nu depinde de aceasta și poate fi obținută aprioric. Pînă acum au fost făcute două încercări de a o specifica aprioric : teoria relativității cinematice și teoria stării staționare ; ambele conduc la rezultate incompatibile cu ecuațiile relativiste. Observația optică nu exclude deloc, la ora actuală, modelul liniar al lui Milne, după cum am văzut. Acest model suscitînd astăzi mult mai puțin interes decât modelul staționar, confruntarea proprietăților sale cu observația radioastronomică nu pare să fi fost cercetată sistematic. În orice caz, nu se ocolește dificultatea singularității inițiale. Teoria stării staționare o suprimă, după cum se știe, și principiul cosmologic perfect, ca și ipoteza staționarității, sînt minunate fire ale Ariadnei în labirintul cosmologiei empirice. Dar, așa cum am văzut, datele actuale ale astronomiei și ale radioastronomiei nu îi sînt prea favorabile.

Este adevărat, așa cum notează Bondi², că previziunile sale fiind mai nete și mai precise decât ale oricărei cosmologii „evolutive”, imprecizia, care este o regulă în cosmologia depărtărilor, îi este deosebit de defavorabilă. Echitabil este să reamintim și

¹ R. HANBURY BROWN, *Clustering, Cosmology and Source Counts*, M.N.R.A.S., 124, 1, 1962, pp. 35—48.

² *Cosmology*, op. cit., p. 157.

efectul *Stebbins-Whitford* de înroșire a galaxiilor eliptice, din care se obținuse un argument reputat ca invincibil împotriva ipotezei staționarității. Acesta fusese însă numai un miraj. Totuși, Hoyle trebuie să fi considerat consecințele numărărilor radioastronomice de la Cambridge destul de serioase pentru a întreprinde, cu această ocazie, împreună cu Narlikar, o revizuire în stil mare a cosmogoniei Universului staționar¹. Și, dacă considerăm ca *realități* rezultatele raționamentelor lui Sandage, Ryle, Davidson, trebuie cu părere de rău să înlăturăm teoria stării staționare. Dar faptul de a fi cunoscut această teorie face să nu ne mai putem întoarce fără reținere la cosmologia relativistă, căci această reîntoarcere la „ortodoxism” se face în condiții proaste pentru că observația indică modele pe cale de decelerare, deci cu un trecut cosmic scurt.

Or această durată scurtă de evoluție cosmică nu este în acord cu ceea ce se poate ști despre durata de evoluție a stelelor și a sistemelor de stele, durată care este în general de același ordin de mărime dar în anumite cazuri este sensibil mai lungă, în așa fel încât modelele care satisfac relația deplasare spre roșu-magnitudine, așa cum este ea observată, sînt în dezacord cu scara timpului.

Astfel, enigma care, din 1930, îi sfida pe inventatorii cosmologiei moderne și producea marea mișcare de gîndire pe care am descris-o, nu este nici astăzi mai aproape de o soluționare empirică. O ameliorare a situației s-a produs începînd din 1952, după ce W. Baade, exploatînd primele rezultate obținute cu telescopul Hale în regiunile metagalactice, a anunțat că scara distanțelor lui Hubble trebuia multiplicată cu doi, ceea ce dubla și valoarea lui $\frac{1}{H_0}$, vîrsta expansiunii. Ca urmare, scara timpului

cosmic se mărește încă..., dar, paralel, astrofizica prelungește durata proceselor care trebuie să se încadreze în această scară și dialectica originilor este în continuare alimentată de contradicțiile cunoașterii empirice.

Pe de altă parte, dacă în fața acestei probleme cosmologia relativistă este în măsură să-și dovedească suplețea și capacitatea de adaptare—motive pentru care cosmologii deductiviști manifestă un anumit dispreț față de ea, așa cum am văzut — acest lucru nu duce la un câștig evident. Modificînd relația dintre ρ și p în ecuațiile lui Friedman, se poate adapta soluția la o stare a materiei

¹ F. HOYLE, J. V. NARLIKAR, *On the Counting of Radio-Sources in S. S. Cosmology*, M.N.R.A.S., 123, 1961, pp. 133–166.

cosmice foarte diferită de starea actuală. Așa cum au demonstrat Tolman și Zanstra, însă, nu există nici o posibilitate de a evita trecerea prin starea singulară, cel puțin în cadrul robertsonian. Cît despre abandonarea ipotezelor robertsoniene, acesta este un fapt promițător dar arbitrar și din momentul în care ne atingem de timpul cosmic paradoxurile se arată la orizont... Se arată chiar și cînd nu ne atingem de timpul cosmic. Căci chiar păstrînd ipoteza einsteiniană $\Lambda = 0$ și chiar admitînd, mai mult, ca McVittie, că $\Lambda < 0$, riscăm să ajungem la un model periodic, cu toate dificultățile care pot rezulta în legătură cu sensul timpului.

În această privință, teoria stării staționare își manifestă cel puțin virtuțile polemice. Cînd Baum a prezentat la Societatea regală de astronomie din Anglia rezultatele cercetărilor sale asupra Universului îndepărtat și a subliniat minunata concordanță dintre rezultatele sale — obținute prin fotometrie — și cele ale lui Minkowski obținute prin spectroscopie — cu privire la cunoscuta radiosursă 3C 295, depistată cu telescopul Hale la o distanță de aproximativ șase miliarde ani-lumină, Bondi a fost acela care a tras concluzia cosmologică cea mai frapantă din acest extraordinar sondaj¹. Fotometria galaxiilor apropiate este cea care i-a furnizat lui Baum curbele etalon care permit măsurarea decalajului radiației în magnitudine și frecvență. Faptul că această metodă dă rezultate în concordanță cu cele spectroscopice dovedește deci că galaxiile au evoluat puțin în șase miliarde de ani. Totuși, aceste șase miliarde de ani reprezintă o fracțiune destul de importantă din timpul maxim acordat evoluției totale a galaxiilor, prin valoarea găsită pentru q_0 . Ar trebui deci ca galaxiile să fi evoluat foarte rapid spre o stare cvasistaționară, ceea ce nu reprezintă o ipoteză prea satisfăcătoare. Printre rîndurile intervenției lui Bondi se citește clar că ipoteza staționarității este singura care se poate debarasa o dată pentru totdeauna de dificultăți de acest gen...

Dar trebuie să constatăm în concluzie că logica nu este în cosmologie de partea observației, ale cărei rezultate mai curînd duc gîndirea la un impas în dialectică decît s-o elibereze.

¹ The Observatory, 81, 293, 1961, p. 114.

Capitolul XI

PE FIRUL IDEILOR ȘI AL EVENIMENTELOR

I

În ciuda celor patruzeci de ani de cercetări despre a căror îndrăzneală, amploare și diversitate am vorbit, nu se poate spune că locul cosmologiei în gândirea științifică a timpului nostru este net stabilit, și nici că s-ar fi împrăștiat echivocurile care încă de la început i-au conferit un caracter original.

Cu toate că s-a mărit enorm, Universul s-a apropiat indiscutabil. Pentru a ne convinge, nu este suficient să remarcăm că termenul „cosmic” a devenit, după termenii „dialectic” și „valoare”, împreună cu termenul „lingvistic”, spuma retoricii contemporane. Succesul cuvintelor-cheie se bazează adesea pe atribuirea unui sens opus sau pe confuzii; așa se întâmplă și aici. Adevărata apropiere a „cosmicului” se remarcă după semne mai puțin vizibile.

Mai întâi s-a dobândit în mod rezonabil certitudinea că astronomia are despre Univers o viziune la scară mare și panoramică. Este plauzibil să credem că ceea ce vedem din Univers nu este poate decât o parte infimă, dar reprezentativă, și că această fracțiune formează în orice caz o parte care nu este neglijabilă din ceea ce omul va putea vedea vreodată. Căci, chiar dacă modelul teoretic adecvat al lumii reale nu comportă un „orizont”¹, expansiunea impune de fapt o limită a Universului vizibil, situată destul de aproape de posibilitățile de mărire a instrumentelor.

Mai mult, frumoasa ordine pe care Comte o stabilise în clasificarea științelor este desigur foarte mult perturbată: fizica nucleului atomic nu este nici „cerească”, nici „terestră”. Experiența de laborator dă cheia pentru înțelegerea spectrogramelor astrilor și, în schimb, Soarele și materia interstelară servesc drept modele pentru transformări irealizabile pe suprafața Pământului. Astronomia, fizica, microfizica se îmbogățesc reciproc, iar fizicianul ato-

¹ Vezi Anexa IV, spre sfârșit.

mist nu mai poate, din punct de vedere profesional, să se dezintereseze de Univers și nici astronomul de elemente.

Există astăzi motive mai profunde care să lege și mai strâns fizica de cosmologie decât s-ar fi putut crede acum cincizeci de ani. Cadrul geometric al măsurătorii, operația de măsurare sau fenomenul măsurat nu mai sînt noțiuni pe care să le putem distinge folosindu-ne numai de bunul simț. Or, problema *substratum*-ului metric al lumii fizice s-a impus, încă de la început, și chiar din momentul în care se evidențiază originalitatea cunoașterii microfizice, ca o problemă centrală a cosmologiei. Chiar dacă speculațiile cu privire la relațiile efective dintre numerele mari din cosmologie și cele din microfizică nu au dat pînă în prezent rezultate prea edificatoare, în orice caz toate ramurile fizicii fundamentale au de suportat fiecare în parte consecințele aceleiași răsturnări conceptuale: cunoașterea experimentală și rațională a naturii nu mai poate dispune întotdeauna și în mod sigur de o aceeași structură metrică. Relațiile dintre proprietățile spațiului și ale timpului și cele ale entităților care intră în operațiile experimentale și teoretice au devenit o problemă complicată.

Este oare suficient ca problema să fie tratată la fiecare scară cu mijloacele potrivite, așa cum o fac microfizica, fizica moleculară, clasică sau relativistă, cosmologia? Trebuie ca, într-un anumit sens, spațiul și timpul să fie „aceleași” la toate nivelurile și ca scările să se racordeze, căci altfel experiența noastră nu le-ar putea lega în sisteme coerente. Este dificil pentru fizică să se dezintereseze complet de cosmologie atunci cînd ea constată, de exemplu, că expansiunea, fenomen cosmic, afectează poziția pe o spectrogramă a liniilor atomice care rezultă dintr-o tranziție cuantică.

Nu este vorba de faptul că fizica ar fi dispusă să accepte bucuroasă acest schimb cu știința Universului, atît de incomod, atît de puțin conform cu exigențele specializării. Imprecațiile pe care le lansa Dingle acum treizeci de ani împotriva „cosmologiei” sînt semnificative pentru o stare de spirit care nu-i aparține în mod exclusiv.

De asemenea, nu se poate spune că ar fi ușor de situat exact cosmologia în raport cu celelalte științe fizice. Ea este, într-un sens, știința *substratum*-ului metric, a cărui cunoaștere ar trebui să specifice, în imensul domeniu al structurilor matematice posibile din punct de vedere logic, pe acelea care sînt mai potrivit adaptate definiției mediului general de existență și formelor fundamentale de existență a ființelor fizice. Acest privilegiu nu poate fi acordat decât celor care îndeplinesc anumite condiții:

ele trebuie să definească o natură ale cărei părți să fie legate cauzal între ele și care să poată oferi posibilitatea unei cunoașteri obiective, nu pentru subiectul gânditor universal, ci pentru oameni, adică pentru ființe multiple, care fac parte ele însele din lume și sînt separate unele de altele prin spațiu, și fiecare de ea însăși prin timp. Chiar dacă presupunem că se elimină tot ceea ce este întîmplător în datele senzoriale, această dispersare în spațiu și timp le situează față de Univers într-o situație epistemologică esențial diferită de cea care există între gîndirea lor și obiectele lor ideale logice și matematice, pentru că lumea este un sistem care este întotdeauna văzut și gîndit din interior, dintr-un anumit punct spațio-temporal din care însăși prezența ființei gînditoare face un centru, în care converge informația și din care radiază acțiunea.

Definită după acest program, cosmologia ar trebui să fie situată, la începutul fizicii, într-o regiune în care s-ar stabili o joncțiune între cunoașterea matematică și cunoașterea fizică; tocmai acesta este modul în care Milne, și, după el, Bondi au înțeles natura sa și i-au fixat locul.

Dar cosmologia este și știința întregului și, conform noțiunilor obișnuite ale științei experimentale, cunoașterea întregului trebuie concepută ca sinteza cunoașterii părților. Discursul cosmologic ar trebui deci să nu se instituie decît la capătul unui proces de inducție globală, care să racordeze cunoștințele parțiale pe măsură ce ele se precizează și se lărgesc. Și tocmai acesta este modul în care concep astronomii cunoașterea Universului. Dar atunci sinteza cosmologică riscă mult să fie un orizont care se retrage și dă încontinuu iluzia unei împliniri înșelătoare, iar aceasta se împacă greu cu pretenția la o determinare prealabilă a structurii metrice, pretenție care este profund ancorată în gîndirea cosmologică și care este, într-o anumită măsură, implicită în operațiile de măsurare și de numărare efectuate asupra Universului îndepărtat.

În orice caz, chiar dacă se ajunge să se facă această alegere dificilă pentru cosmologie între primul și ultimul loc, îi rămîne particularitatea de a fi știința unui obiect unic, ceea ce o plasează dintr-o dată în afara normelor curente ale gîndirii științifice. Nu este întîmplător faptul că la originea cosmologiei moderne stă o problemă tehnică de *condiții la limită*. Într-adevăr, dualismul faptului și al legii, care nu este decît forma epistemologică a vechiului dualism metafizic al esenței și existenței, este reprezentat destul de exact în fizică de opoziția dintre ecuația diferențială — sau cu derivate parțiale — și condițiile inițiale sau condițiile la

limită pe care le verifică integralele aplicabile sistemelor fizice particulare. Dar, desigur, această schemă nu se mai poate aplica exact atunci când este vorba de Univers, pentru că în acest caz este vorba de un sistem fizic unic a cărui lege de evoluție nu poate avea alte aplicații. Trebuie deci ca condițiilor existente să li se atașeze o anumită necesitate logică, și, invers, forma logică a Universului nu poate fi separată de existența sa.

Pentru Descartes, adevărurile eterne trebuiau să fi fost create. Pentru cosmologia modernă, legile naturii trebuie să existe în și prin Univers.

De aceea, legătura științei cosmologice cu obiectul unic al atenției sale o privează de jocul obișnuit al legăturii de cauzalitate și de manipularea obișnuită a principiului rațiunii suficiente. Fizica nu își pune întrebarea de ce un anumit lucru mai curînd decît nimic. Lumea fiind dată și, în ea, fiind date configurații mai mult sau mai puțin bine definite, fizica poate să-și pună întrebări cu privire la rațiunea de a fi și la geneza sistemelor fizice oferite de observație. Presupunînd că există hidrogen, de ce și cum se face că există oxigen și fier? Dacă există atomi, de ce și cum se face că există stele? Pe o planetă înconjurată de o atmosferă și primind o anumită cantitate de radiație în anumite frecvențe, de ce și cum se face că există ființe vii?

Dar fiind vorba de Univers, adică de unic, problema existenței își recapătă forma calitativă și absolută. De aici necesitatea, pentru cosmologul consecvent, sau de a defini pentru Univers condiții de existență și rațiuni de a fi interioare Universului însuși (de exemplu omogenitatea permanentă și principiul de conservare, înțeles în sens ontologic și absolut și nu în sensul său fizic obișnuit, definirea unei reguli cantitative pentru stabilirea bilanțului transformărilor localizate), sau de a raporta în bloc existența sa la o instanță oarecare în afara lumii (specificată sau nu), acumulînd într-o anumită stare cosmică inițială toate condițiile de existență ale tuturor sistemelor fizice. Dar este clar că o astfel de practică iese cu totul din cadrul uzanțelor fizicii pozitive.

Trebuie să recunoaștem că unul dintre meritele cosmologilor din cea de-a doua generație, și în special al lui Milne, este acela că prin îndrăzneala lor, ba chiar prin exagerările lor, au scos clar în evidență faptul că orice discurs asupra Cosmosului, chiar cel care se situează cel mai aproape de observație, sau în cadrul construcțiilor teoretice cel mai bine verificate, este, în anumite privințe, filozofic. Toate aserțiunile cu semnificație cosmologică, inclusiv refuzul de a vorbi despre Univers, fac parte din această categorie, căci există un punct în care prudența științifică, care cere

limitarea în mod rezonabil a sferei afirmațiilor bazate pe presupuneri, se transformă în agnosticism, abținere deliberată, solidară cu o filozofie, indiferent că aceasta semnifică teama de a trece peste un tabu, sau că implică faptul că, în principiu, Universul este considerat ca un obiect incognoscibil și care transcende rațiunea. Acest punct este atins, spre exemplu, atunci când, recunoscând că sistemul vizibil al galaxiilor prezintă anumite caracteristici de ansamblu bine schițate de observație, se refuză totuși să se considere aceste caracteristici drept „cosmice” sau se simulează că aici nu se manifestă decât niște particularități locale.

Aceste implicații filozofice inevitabile ale cosmologiei fac dificilă definirea statutului ei științific și explică neîncrederea cu care sînt privite cercetările sale de către o serie de oameni de știință. Ele explică de asemenea eforturile pe care le fac cei care o practică pentru a dovedi că ea este pe deplin științifică, ceea ce îi face să o prezinte fie ca o simplă anexă a teoriei relativității, lucru care îi denaturează sensul, fie să ceară pentru ea un loc excepțional, pe care foarte puțini sînt dispuși să i-l acorde.

În sfîrșit, ceea ce este destul de frapant este faptul că, deși nimeni nu poate spune exact ce fel de știință este, nici ce formă va căpăta în viitor, cosmologia există totuși în fapt și participă la mișcarea generală a științei naturii. Aceasta ne face sceptici cu privire la posibilitatea unei epistemologii care ar pretinde să atribuie aprioric o limită domeniului de explorare științifică, să definească un sistem de norme explicite cărora ar trebui să li se conformeze cu necesitate orice enunț trecut, prezent sau viitor pentru a apărea ca „științific”.

Ideea unei interdicții cu privire la cosmologie apare chiar la sursa raționalismului modern. Orice gîndire despre Univers ar trebui să fie, după Kant, antinomică printr-o necesitate apriorică, iar Comte voia să-i împiedice pe astronomi să se ocupe cu ceea ce se petrece în Soare; tabu-ul lui Comte pare astăzi derizoriu, dar nici demonstrația lui Kant nu este mult mai edificatoare. Problema de a ști dacă Universul este sau nu finit în spațiu nu mai este „dialectică” și observația va hotărî asupra acestui fapt într-un număr mai mic de ani poate decît cel care ne separă de *Critica rațiunii pure*. Problema originii lumii în timp, pe care Kant o asocia analitic de primă, este astăzi cu totul separată și, deși rămîne profund dialectică, aceasta nu aduce prea multe dovezi în favoarea coerenței raționamentelor dialecticii transcendentele.

Dezbaterea pasionată dintre Milne și relativistii „ortodocși” nu s-a încheiat cu adevărat; totuși, cosmologia și-a continuat cariera aventuroasă. În lucrarea de față, numele „ortodoxului”

limitarea în mod rezonabil a sferei afirmațiilor bazate pe presupuneri, se transformă în agnosticism, abținere deliberată, solidară cu o filozofie, indiferent că aceasta semnifică teama de a trece peste un tabu, sau că implică faptul că, în principiu, Universul este considerat ca un obiect incognoscibil și care transcende rațiunea. Acest punct este atins, spre exemplu, atunci când, recunoscând că sistemul vizibil al galaxiilor prezintă anumite caracteristici de ansamblu bine schițate de observație, se refuză totuși să se considere aceste caracteristici drept „cosmice” sau se simulează că aici nu se manifestă decât niște particularități locale.

Aceste implicații filozofice inevitabile ale cosmologiei fac dificilă definirea statutului ei științific și explică neîncrederea cu care sînt privite cercetările sale de către o serie de oameni de știință. Ele explică de asemenea eforturile pe care le fac cei care o practică pentru a dovedi că ea este pe deplin științifică, ceea ce îi face să o prezinte fie ca o simplă anexă a teoriei relativității, lucru care îi denaturează sensul, fie să ceară pentru ea un loc excepțional, pe care foarte puțini sînt dispuși să i-l acorde.

În sfîrșit, ceea ce este destul de frapant este faptul că, deși nimeni nu poate spune exact ce fel de știință este, nici ce formă va căpăta în viitor, cosmologia există totuși în fapt și participă la mișcarea generală a științei naturii. Aceasta ne face sceptici cu privire la posibilitatea unei epistemologii care ar pretinde să atribuie aprioric o limită domeniului de explorare științifică, să definească un sistem de norme explicite cărora ar trebui să li se conformeze cu necesitate orice enunț trecut, prezent sau viitor pentru a apărea ca „științific”.

Ideea unei interdicții cu privire la cosmologie apare chiar la sursa raționalismului modern. Orice gîndire despre Univers ar trebui să fie, după Kant, antinomică printr-o necesitate apriorică, iar Comte voia să-i împiedice pe astronomi să se ocupe cu ceea ce se petrece în Soare; tabu-ul lui Comte pare astăzi derizoriu, dar nici demonstrația lui Kant nu este mult mai edificatoare. Problema de a ști dacă Universul este sau nu finit în spațiu nu mai este „dialectică” și observația va hotărî asupra acestui fapt într-un număr mai mic de ani poate decât cel care ne separă de *Critica rațiunii pure*. Problema originii lumii în timp, pe care Kant o asocia analitic de prima, este astăzi cu totul separată și, deși rămîne profund dialectică, aceasta nu aduce prea multe dovezi în favoarea coerenței raționamentelor dialecticii transcendente.

Dezbaterea pasionată dintre Milne și relativistii „ortodocși” nu s-a încheiat cu adevărat; totuși, cosmologia și-a continuat cariera aventuroasă. În lucrarea de față, numele „ortodoxului”

Robertson și cel al „ereticului” Milne, care nu se prea agreeau, științifice vorbind, sînt strîns legate; nu autorul ci însăși logica gîndirii cosmologice i-a reconciliat. Unul din puținii oameni de știință care s-au interesat în ultimii ani de modelul de univers al relativității cinematice este McVittie, atît de bruscăt acum douăzeci de ani de Milne și Walker pentru atașamentul său excesiv față de relativitatea generalizată. Gödel a căutat mai întîi în cosmologie mijlocul de a dovedi că timpul nu este decît o iluzie; lucrările sale sînt citate astăzi cu respect de oameni de știință cum nu se poate mai „rezonabili”, care găsesc în modelele în rotație nu mijlocul de a schimba cursul timpului (această „anomalie” este bucuros trecută sub tăcere), ci pe acela de a ocoli dialectica originilor.

Trebuie să constatăm deci — cu satisfacție — că gîndirea cosmologică și-a urmat cursul în ciuda incertitudinilor și echivocurilor care persistă în legătură cu fundamentele, metoda și relațiile sale cu ansamblul fizicii. Știința, ca și Universul, nu se lasă circumscrisă de o frontieră. Oamenii de știință se servesc bucuros de cuvîntul „metafizică” pentru a desemna ceea ce consideră a fi de cealaltă parte. Dar niciodată ei nu au ajuns la un acord nici asupra extensiunii, nici asupra a ceea ce se înțelege prin acest concept. Atomul, galaxiile, inerția energiei, transfinitul au fost un timp „metafizice” și orice încercare de definire a comandamentului *Nec plus ultra!* (pînă aici!) a constat întotdeauna în a face să predominie o anumită filozofie a științei care îi restrînge arbitrar pretențiile și posibilitățile.

Lucrul acesta este probabil adevărat pentru orice știință. Interesul deosebit, din punct de vedere epistemologic, pe care îl prezintă știința Universului, este acela că renașterea sa recentă și strălucitoare a scos în mod deosebit în evidență deschiderea esențială a gîndirii științifice și confuzia creată de îndrăzneala și de permanenta sa capacitate de a pune totul în discuție, confuzie a tuturor celor care vor să o restrîngă pe măsura dogmelor lor, fie ele chiar și dogmele scientismului.

Toate ambiguitățile și incertitudinile cosmologiei se regăsesc atunci cînd este vorba de definirea legăturilor ei cu teoria relativității. Născută din această teorie, în interiorul căreia a produs dealtfel imediat discordie, noua știință a Universului s-a îndepărtat de ea cu mult zgomot; acum tinde să revină, dar această întoarcere nu este un act de supunere și cu greu ar putea fi.

Faptul că această întoarcere are loc se explică desigur fără greutate, mai ales prin consolidarea și progresele teoriei relativi-

tății restrînse. Principiile, metodele, teoremele fundamentale ale relativității restrînse s-au impus definitiv și reprezintă de acum înainte o parte integrantă atât a științei consacrate, cât și a fizicii actuale. Cît despre relativitatea generalizată, legăturile logice pe care aceasta le are cu teoria restrînsă creează un precedent favorabil și nu există vreo „obieție” temeinică, teoretică sau experimentală. În ultimii ani ea a cunoscut un nou avînt, în același timp în care se imaginau experiențe noi, încununute de succes deplin, în vederea verificării unora dintre principiile sau consecințele sale¹. Ea se pretează mai bine decît orice altă teorie locală la extrapolarea cosmologică și furnizează cosmologului sprijinul unui sistem conceptual coerent, al unui formalism matematic de care nu se mai poate lipsi și, mai ales, mijlocul de a specifica, în acord cu experiența locală, problema interacției dintre corpurile cosmice.

În schimb, cosmologia pură are un conținut autonom bine stabilit și nu numai „cosmolatrii” spun acest lucru. Acest conținut este totuși destul de sărac și pare destinat să rămînă așa. Acum aproape treizeci de ani Robertson a arătat cît de excesivă era pretenția lui Milne de a deduce aprioric din principiile cosmologice o teorie a forțelor fizice. „Principiul cosmologic perfect” și, într-o măsură mai mică, „principiul fundamental” al lui Dirac și Jordan permit să se meargă destul de departe în determinarea proprietăților structurale ale Universului și în prezicerea unor efecte observabile în principiu, dacă nu efectiv observate. Dar în absența unei teorii fizice, deducția cosmologică se împotmolește brusc; cînd este vorba de a aplica proprietățile ansamblului cosmic la părțile care îl compun, se face apel la relativitatea generalizată. Așa se explică încercarea de compromis a lui Hoyle, după cea a lui Jordan.

Trebuie să ținem totuși seama că evoluția și consolidarea teoriei relativității generalizate i-au modificat în același timp profund caracterul, într-un mod care o face mai puțin interesantă pentru cosmologie. Într-adevăr, cîmpul său de aplicație efectivă este considerabil mai îngust decît doriseră și speraseră Einstein și elevii lui. În notele sale autobiografice, scrise în 1949, cu ocazia celei de-a șaptezecoa aniversări, Einstein explică foarte clar că determinarea legilor cîmpului gravitațional nu fusese în intenția

¹ Mai ales experiențele lui Dicke, care au confirmat, cu o precizie de o mie de ori mai bună decît cea a lui Eötvös, identitatea masei grele cu masa inertă, precum și cele ale lui Pound și Rebka, care, pornind de la efectul Mössbauer, au demonstrat existența încetînirii relativiste a timpului în cîmpul gravitațional al Pămîntului. În legătură cu experiențele lui Pound și Rebka, vezi M. A. Tonnelat, *Les récentes expériences sur le décalage vers le rouge en tant que preuves de la relativité générale*, *Annales de l'I.H.P.*, 17, 1, 1961, p. 59.

sa decît o primă etapă — singura care i s-a părut accesibilă — în cercetarea „legii universale a spațiului fizic”. Această determinare avea avantajul de a-i permite să construiască „un cadru formal preliminar pentru reprezentarea realității fizice în întregul ei”¹. Folosirea cosmologică a unei astfel de teorii destinată universalității celei mai complete urma deci de la sine.

Se știe ce a urmat: apariția și succesul teoriilor cuantice, imposibilitatea de a construi, în ciuda unor cercetări îndelungate și perseverente, o teorie unitară a cîmpului care să aibă o veritabilă semnificație fizică, au schimbat pe parcurs scopul și sensul acestei acțiuni. Teoria relativității generalizate este o teorie ireproșabilă și extraordinar de fină a fenomenelor gravitaționale, cărora le-a lărgit dealtfel domeniul, dar, pînă în prezent, rămîne atît și nimic mai mult.

Or, procesele cosmice sînt categoric dominate de gravitație. Lucrul acesta pare însă mai puțin exclusiv astăzi decît acum treizeci de ani. În mod sigur, la scara galaxiilor, poate și la scara intergalactică, au loc fenomene electromagnetice. Structura spiralată a galaxiilor, căreia i s-a căutat mult timp o explicație pur gravitațională, este acum atribuită în mod curent, pe drept sau pe nedrept, unor efecte electromagnetice. Dacă materia este generată continuu sub formă de protoni sau de neutroni, cum susțin Bondi, Gold și Hoyle, sau dacă Universul a trecut sau trece periodic prin stări de densitate foarte mare, atunci procesele nucleare participă la determinarea structurii și a istoriei cosmice. Deci cosmologia este silită, și va fi poate din ce în ce mai mult, să ia în considerație fenomene fizice ale căror legi nu rezultă din ecuațiile lui Einstein.

Invers, dacă ne limităm la fenomenele gravitaționale, relativitatea generalizată nu este strict indispensabilă. Cosmologia se poate servi de teoria newtoniană care, chiar dacă nu dă o explicație satisfăcătoare deplasării spre roșu, furnizează desigur o excelentă aproximație, ale cărei formule sînt mai ușor de manevrat și care permite ca lumea să se rotească, chiar dacă este infinită, cu viteza cu care dorim, fără a ne afla în situația ca pe anumite linii de univers să se inverseze sensul timpului...

Adăugăm că nici unul din motivele care ar fi putut exista prin 1930 de a căuta pentru cosmologie alte baze decît teoria relativității generalizate nu a dispărut cu adevărat. Problema constantei cosmologice nu a fost încă rezolvată. Chiar dacă se ia $\Lambda = 0$, așa cum a făcut Einstein, în mod arbitrar, cele două nedeterminări ale cosmologiei robertsoniene persistă. În plus, rămîne și opoziția

¹ *Autobiographisches*, în *E.P.S.*, op. cit., pp. 70–72.

foarte profundă, ale cărei efecte am avut deseori ocazia să le constatăm, între suplețea relativității generalizate, toleranța sa în privința deformării metrice a spațiu-timp-ului și rigiditatea formală a unei teorii cosmologice care, pentru a defini o formă metrică unică și universală, este obligată să impună limite foarte stricte modelării spațiu-timp-ului. Idealul cosmologic cu adevărat relativist este cel al unei alcătuirii a Universului bucată cu bucată, dar pentru ca acesta să fie realizat ar fi nevoie de o matematică supraumană. Nimeni nu poate spune ce lume bizară ar putea să rezulte din aceasta și, așteptând ca programul să poată fi realizat cel puțin parțial, cosmologia relativistă este obligată să pună în practică aceleași ipoteze apriorice de care se servește cosmologia pură, ipoteze care sînt străine, dacă nu chiar contrare, însuși spiritului teoriei relativității.

Reîntoarcerea cosmologiei la sînul matern relativist nu ar putea deci să se facă în entuziasmul jurămintelor eterne de reunire indestructibilă și, în starea actuală a lucrurilor, este tot atît de imposibil pînă la urmă să se tragă o concluzie definită cu privire la situația epistemologică și metodologică a cosmologiei, ca și asupra structurii spațiu-timp-ului cosmic.

II

Ideile de „spațiu”, „spațiu-timp”, „timp” sau „materie-energie” formează osatura conceptuală a gîndirii fizice. Știința se străduiește să le priveze de orice semnificație ontologică, să nu le lase decît un conținut experimental sau „fenomenologic”, într-o formă matematică. A le lua deci ca obiect al unui discurs care nu se supune riguros regulilor de sintaxă și semantică, care pretinde să se refere la ființe sau la ființă fără a specifica în ce tip de experiențe sînt presupuse a apărea, ce fel de relații trebuie să aibă între ele, pe scurt al unui discurs filozofic, înseamnă evident a-ți asuma un risc. Trebuie totuși să remarcăm că filozoful nu este singurul care și-l asumă. Se întîmplă deseori ca omul de știință să se elibereze într-un astfel de context de o disciplină care îi pare excesiv de limitativă, ca el să vorbească de „spațiu”, fără a specifica dacă este vorba de o varietate riemaniană V_3 , de „materie”, fără a preciza dacă vorbește de o densitate de sarcină sau de o masă inerțială. Fără îndoială, se întîmplă mult mai curent ca aceste idei să intervină sub formă brută și implicită în cercetarea sa, în alegerea unei metode, în preferința acordată unei anumite intuiții, în sentimentul imediat că o cale este promițătoare și că alta nu este. Cu

alte cuvinte, aceste categorii ale gândirii fizice țin de o filozofie naturală precedând, împlinind și învăluind din toate părțile discursul care se vrea sau se crede strict „științific” — dar aparținând în același timp științei în sensul său strict, de cunoaștere explicită, verificată sau verificabilă, comunicată sau comunicabilă, după regulile general admise.

Or, nu există nici o îndoială că cosmologia modernă a contribuit într-o anumită măsură la transformarea și îmbogățirea sensului acestor categorii și poate că nu s-a acordat suficientă atenție la ceea ce aduc nou în această privință rezultatele și intervențiile ei. Sub această formă am dori acum, după ce am încercat să tragem concluzia epistemologică a investigației noastre, să desprindem învățămintele pe planul ontologiei naturale.

Mai întâi, în ceea ce privește *spațiul*, vedem cum în interiorul cosmologiei secolului al XX-lea se schițează sau ia naștere din nou opoziția între două filozofii, fiecare cu elementele sale tradiționale și cu aspectele sale originale. În cosmologia einsteiniană din 1917 — mai net decât în principiile teoriei relativității generalizate — renaște realismul cartezian sau spinozist al lui *res extensa* (substanță extinsă), cu ideea preconcepută de a șterge orice diferență esențială dintre spațiu și conținutul său. În această cosmologie, omogenitatea postulată la scara Universului restabilea regularitatea și uniformitatea proprietăților metrice ale spațiului, pe care filozofii clasici voiau să le vadă bazate pe o intuiție rațională. Pe de altă parte, ipoteza unui repaus mediu al materiei, echivalentă cu cea a unui timp cosmic, introducea separarea spațiului și a timpului. Postulatul determinării complete a metricii de către materie, principiul că inerția este o proprietate inseparabilă a maselor și a spațiului, care au reprezentat ideile directe ale cosmologiei relativiste la începuturile ei, definesc forma modernă a realismului spațiului. Dimpotrivă, la Milne idealitatea spațiului se afirmă cu vigoare și contrastează atât de puternic cu realitatea pe care o atribuie el trecerii timpului, încât aceasta îl conduce la a refuza comoditățile matematice ale spațiu-timp-ului.

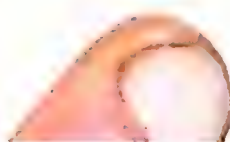
Or, pe de o parte, Einstein a eșuat în această privință pentru că nu a reușit să-și modifice ecuațiile într-un mod care să interzică, așa cum voia el, existența unei lumi vide. Pe de altă parte, adevărata originalitate a lui Milne constă în a fi dat asupra idealității spațiului o concepție nouă, cu totul diferită de cea care rezulta la Kant din reducerea transcendentă a spațiului euclidian și a timpului galileian. Milne revine într-adevăr la o metafizică a relației spațiale pe care nimeni de la Leibniz încôace nu o folosisese cu adevărat pentru interpretarea spațiului fizic: spațiul este

modul de coexistență al monadelor gînditoare și trebuie să fie considerat astfel chiar de știința naturii, înainte de a fi considerat ca atributul cel mai imediat evident al ființelor materiale; este tocmai ceea ce numim, din comoditate, „principiul monadologic”. Am dezvoltat mult prea pe larg acest aspect al relativității cinematice pentru a mai reveni asupra lui¹.

În contextul actual, problema care se pune în legătură cu principiul monadologic al lui Milne este următoarea: de ce o idee atît de nouă, atît de atrăgătoare din punctul de vedere al filozofiei naturale nu a avut în final decît consecințe limitate, nu numai asupra dezvoltării fizicii teoretice, dar și asupra celei a cosmologiei? Aceste consecințe nu sînt desigur neglijabile, pentru că principiul monadologic stă la baza deducerii apriorice a expresiei elementului clasic ds^2 al spațiu-timp-ului cosmologic, de către Robertson ca și de Walker, și, de asemenea, pentru că acești autori au pus în evidență pe parcurs o afinitate între acest principiu și formalismul teoriei grupurilor, de care Milne, în mod paradoxal, nu se servise decît în problema observatorilor coliniari. Realismul, ba chiar materialismul autorilor teoriei stării staționare nu îi împiedică totuși pe aceștia să enunțe principiul lor cosmologic perfect în aceiași termeni de care se servea Milne pentru a enunța principiul cosmologic: concordanța aparențelor pentru diverși observatori situați diferit în spațiu și timp. Dar trecerea deductivă de la monadologia matematică la Universul fizic nu pare a fi viabilă.

La întrebarea noastră referitoare la relativa sterilitate a principiului monadologic, din punctul de vedere al științei, apar de la sine cîteva elemente de răspuns. Mai întîi, printr-un fel de paradox nu lipsit de sens, acest principiu se dovedește util mai ales în definirea relațiilor dintre spațiu și timp. Apoi, ceea ce-i lipsește acestui principiu pentru a se impune științei este imposibilitatea vreunei folosiri experimentale directe. Practic, toți oamenii sînt situați în același punct al spațiului și nu obțin decît o observare instantanee a Universului. Este suficient să imaginăm schema unei „experiențe inchipuite”, pentru a înțelege ce sens diferit ar căpăta principiul monadologic dacă s-ar putea stabili comunicații efective la distanțe foarte mari. De exemplu, pentru a clarifica lucrurile, putem imagina trei observatori înzestrați cu instrumente identice, putînd comunica prin semnale și, în timpul întregii perioade necesare comunicării observațiilor, fiind situați astfel: *A*, pe Pămînt; *B*, ocupînd o poziție echivalentă într-o galaxie suficient de îndepărtată; *C*, călătorind în spațiul intergalactic cu o viteză con-

¹ Vezi mai sus, p. 178.



stantă egală cu $c/2$, de exemplu, în raport cu centrul galaxiei celei mai apropiate. Postulatele cosmologiei structurale ar căpăta atunci sensul unor enunțuri intersubiective verificabile experimental. Compararea aspectului global al Universului, văzut respectiv de A , B , C , ar permite o verificare directă a ipotezelor robertsoniene. De exemplu, dacă Universul este izotrop pentru A , postulatul lui Weyl implică faptul că el este izotrop și pentru B , dar nu pentru C , care nu ar putea observa aceeași relație viteză-distanță pentru decalajele spectrale în cele două emisfere pe care le-ar schița pe „sfera cerească” direcția mișcării sale în raport cu galaxia de referință.

S-ar putea stabili un raport direct între observație și cosmologia structurală, care ar face-o pe aceasta din urmă independentă de cunoașterea forțelor fizice. Definirea obiectivă a formei Universului ar fi obținută numai prin racordarea aparențelor, iar cosmologia ar putea pretinde o poziție excepțională. Ea s-ar constitui prin confruntarea dintre principiul monadologic și observație, prealabil oricărui postulat realist asupra raportului dintre spațiu și ființele fizice. Dar tocmai acest lucru este imposibil, iar ideea monadologică de spațiu, oricât de mare ar fi atracția sa filozofică, este destinată să rămână fără o veritabilă aplicație concretă la cunoașterea Universului.

Ceea ce este destul de singular este că ideea monadologică a *perspectivei*, pe care Leibniz a folosit-o în texte binecunoscute, a devenit banală pretutindeni (pentru pictor sau cineast, pentru istoric sau moralist; unii caută să afirme absolutul fiecărei perspective, alții vor, în tradiția leibniziană, să depășească multiplicitatea punctelor de vedere și să definească condițiile unui acord prin această depășire). Dar știința fizică a postulat întotdeauna pînă acum că structura metrică a spațiului transcende de fapt, fără participarea necesară a monadelor, multiplicitatea punctelor lor de vedere. Lecția care rezultă din relativitatea cinematică și din situația sa aberantă în raport cu fizica este deci că realismul spațiului se impune — pînă la un anumit punct — fizicianului, pentru că lumina merge prea repede, după cum i se impunea în mod absolut lui Descartes, pentru că pentru el lumina mergea infinit de repede.

În lipsa posibilității, chiar îndepărtate, a unui control experimental direct, idealismul monadologic al lui Milne nu a putut să se afirme decît ca o schemă abstractă, cu o semnificație limitată pentru edificarea și dezvoltarea științei Universului. Trebuie deci să constatăm că cosmologia secolului al XX-lea lasă deschisă o veche dezbateră ale cărei date s-au reînnoit totuși, între un realism care tinde să identifice forma și conținutul spațiului și un nou idea-

lism, eliberat, prin principiul monadologic, de tradiționalul solipsism epistemologic, care nu lasă subiectului cunoașterii altă posibilitate decât de a se sustrage lumii printr-o magie incompreensibilă, pentru a o contempla de pretutindeni și de nicăieri, sau de a o absorbi în întregime în neantul reprezentărilor sale.

Problemele spațiului au dealtfel pentru filozofia contemporană a naturii mai puțină acuitate decât cele ale spațiu-timp-ului și ale timpului (de care dealtfel nu pot fi separate decât printr-un artificiu). Ne putem convinge mai bine de acest lucru constatînd degenerarea antinomiei dintre finitism și infinitism, reînsuflețită la începutul cosmologiei moderne, dar care tinde să se golească de orice conținut filozofic.

Pentru Einstein, în 1917, închiderea topologică a spațiului era inseparabilă de închiderea logică și epistemologică a Universului, obținută, sau cel puțin căutată, printr-o expresie geometrică riguroasă a principiului determinării complete a metricii de către materie.

Acest din urmă principiu neputînd fi satisfăcut în cadrul relativității generalizate, închiderea topologică a spațiului pierdea mult din interes, fiind astfel lipsită de o justificare solidă. Totuși, printr-un fel de necesitate naturală, finitismul a părut mult timp asociat cosmologiei relativiste. Primul memoriu al lui Friedman nu se referea decât la modele finite, dar acesta a fost puțin citit. Cel de-al doilea, care generalizează rezultatele primului la cazul hiperbolic, pare să fi trecut și el complet neobservat, chiar și de Einstein¹. Prima cosmologie „deschisă” care a cunoscut o oarecare notorietate a fost cea a lui Einstein-de Sitter. Dar Eddington și Lemaître, angajați, fără posibilitate de întoarcere, în finitism, îl popularizaseră și dăduseră revenirii la această ipoteză abandonată de la Renaștere rezonanțele filozofice cunoscute.

Prima contraofensivă motivată a infinitismului fu dată de Milne, adică de un autor care avea toate motivele, din punct de vedere filozofic, să se asocieze celorlalți doi. În timp ce modelul Lemaître-Eddington, finit în spațiu, se întindea la infinit în cele două sensuri ale timpului, Universul lui Milne, infinit în spațiu, provenea dintr-o origine singulară situată la distanță finită în trecut. Prima antinomie cosmologică a lui Kant era astfel complet dislocată și, în plus, lipsită de semnificația sa metafizică, pentru că dezbateră cu privire la finit și infinit punea față în față apără-

¹ În articolul comun al lui Einstein și al lui de Sitter din 1932 se face aluzie, în legătură cu soluțiile cosmologice spațiale deschise, nu la cel de-al doilea memoriu al lui Friedman, ci la lucrările mult mai tîrzii ale lui Heckmann.

tori ai aceleași credințe, adversari ai aceluiasi materialism. Argumentului lui Lemaître că finitudinea Universului semnifică faptul că omul nu trebuie să capituleze în fața lumii îi răspundea cel al lui Milne că o natură finită nu ar fi demnă de măreția creatorului ei.

Lemaître și mai ales Eddington de partea finitismului, Milne de partea infinitismului, aduc desigur și argumente mai puțin arhaice și mai subtile, însă nici un motiv aprioric nu pare să poată fi invocat pînă la urmă în favoarea uneia sau alteia dintre poziții și, în deducerea robertsoniană, indicele curburii spațiale este lăsat în mod rezonabil nedeterminat. În cosmologia staționară (ca de altfel și în cea a lui Dirac) deschiderea spațiului este postulată nu datorită calităților sale proprii, ci datorită faptului că structura euclidiană este asociată în mod necesar cu întreg ansamblul axiomelor. Și în cosmologia relativistă, așa cum am văzut, proprietățile topologice globale ale spațiului pot fi determinate, în anumite condiții, pornind de la observație. Dacă, deci, cosmologia modernă nu decide dacă spațiul este finit sau infinit, aceasta nu se întâmplă pentru că problema aceasta este „dialectică”, ci pentru că, din punct de vedere teoretic, ea este indiferentă și pentru că observația, care ar putea în principiu să o lămurească, nu poate, sau nu o poate face încă.

În general, pare că s-a produs o lentă și insesizabilă reîntoarcere la infinitism. Se revine însă astfel mai curînd la o veche obișnuință de gîndire decît la o metafizică, iar opoziția dintre finit și infinit s-a devalorizat din punct de vedere filozofic.

În ciuda unei încercări stîngace și fără viitor, distincția familiară în prezent matematicienilor dintre mulțimile infinite de diferite ordine nu a fost folosită pînă acum în cosmologie, cu toate că diferența dintre geodezicele lui Weyl, care formează o mulțime continuă, și galaxiile — sau atomii — a căror mulțime trebuie considerată în mod plauzibil ca numărabilă dacă Universul este infinit, invită de la sine la reflecții în această privință. S-a încercat să se demonstreze că în teoria stării staționare, datorită formei exponențiale a metricii și generării continue, mulțimea atomilor ar trebui să aibă o putere superioară celei a numărabilului, dar demonstrația a fost serios combătută.

Problemele legate de ideile de spațiu-timp și de timp nu și-au pierdut în schimb nimic din acuitatea lor filozofică. Dacă persistența unei controverse este semn că o idee continuă să fie vie din punct de vedere filozofic, pentru a fi siguri de vivacitatea filozofică a ideii de spațiu-timp este suficient să comparăm două lucrări recente, publicate la interval de doi ani. În *Filozofia naturală a*

*timpului*¹, G. J. Whitrow, credincios uneia din ideile conducătoare a lui Milne, de a cărei operă cosmologică a fost strâns legat, așa cum am mai spus, dezvoltă și apără în diferite moduri ideea că temporalitatea este o proprietate primordială a lucrurilor și arată că există o întreagă problemă a timpului natural (mai ales problema fundamentală a mulțimii matematice de referință pentru părțile timpului), care este independentă și prealabilă construirii unui spațiu-timp. Dimpotrivă, Costa de Beauregard pare atât de convins de realitatea spațiu-timp-ului încât își pune problema de a ști de ce ființele vii și gânditoare sînt destinate să parcurgă întotdeauna în același sens liniile lor de univers — ca și cum ar exista efectiv linii de gen temporal deja trasate și orientabile înaintea oricărei parcurgeri².

Problema în legătură cu care acești autori prezintă vederi atât de evident opuse este deci următoarea: acestui spațiu-timp, de care se servesc în mod curent fizicienii pentru a reprezenta geometric fenomenele fizice, trebuie oare să i se dea sensul unui artificiu matematic care asociază — pentru motive de comoditate care rămîn să fie explicate — două aspecte esențial diferite ale realității fizice, sau există un spațiu-timp care reprezintă, în bloc, realitatea fizică, distingerea dimensiunii temporale depinzînd numai de modul de percepere al gânditorului uman, antrenat în jocul interacțiilor sale cu lumea?

Autorul se raliază categoric primului termen al alternativei, pentru că studiul cosmologiei moderne l-a convins că concepția „Universului-bloc” se poate susține numai cu mare dificultate din punct de vedere cosmologic. Așa cum cititorii acestei lucrări s-au putut convinge, acest studiu arată, într-adevăr, că 1. ipoteza timpului cosmic se impune aproape cu stringență cosmologiei și că 2. cercetarea cosmologică a adus indicii foarte serioase că ireversibilitatea fizică are o origine și o semnificație cosmologică. Sau, cu alte cuvinte, că libertatea în alegerea *timpului-dimensiune* este limitată într-un mod mult mai strict la scara cosmică decît în fizica locală și că orientarea sa nu poate fi arbitrară, nici relativă numai la poziția subiectului care acționează și gîndește, la direcția gîndirii și acțiunii sale, așa cum este întotdeauna o *dimensiune* în sensul spațial al cuvîntului.

Trebuie să convenim, desigur, că problema este prea complicată pentru a putea fi siguri că poate fi rezolvată examinînd-o dintr-un singur punct de vedere, fie el al Universului. Dar, din aceleași

¹ G. J. WHITROW, *The Natural Philosophy of Time*, London, Nelson, 1961.

² *Le Second Principe de la science du temps*, Paris, Seuil, 1963.

motive care au limitat extinderea analizei noastre cu privire la ireversibilitatea fizică, ne vom limita să luăm în considerație numai acele aspecte ale ontologiei spațiu-timp-ului, care sînt cel mai direct legate de folosirea sa cosmologică.

Din momentul în care a dat transformării Lorentz și axiomele relativității restrinse interpretarea geometrică care i-a imortalizat numele, Hermann Minkowski s-a decis cu îndrăzneală să atribuie spațiu-timp-ului „său” o semnificație în întregime realistă¹. Acest *realism* al spațiu-timp-ului, care prelungește și în același timp contrazice realismul spațiului și al cărui *absolutism* a fost deseori subliniat în contrast cu însuși cuvîntul de relativitate, s-a impus ca un fel de evidență în spiritul relativistilor din prima generație (dacă nu și în cel al lui Einstein, întotdeauna rezervat în această privință și a cărui primă cosmologie era destul de îndepărtată de ontologia spațio-temporală). Se întîlnesc în acest sens exprimări foarte nete la Hermann Weyl și, fapt mai demn de notat, la Eddington, a cărui gîndire filozofică avea să ia după aceea un drum cu totul diferit.

Aceasta ne permite mai întîi să datăm ontologia spațiu-timp-ului, să o situăm în epoca relativității militante, atunci cînd pionierii fizicii teoretice descopereau cu entuziasm puterea axiomelor einsteiniene, eficacitatea formalismului spațio-temporal. Nu este de mirare că ei au fost victimele aceleiași iluzii care i-a dus pe pitagoreici la a situa numerele la baza lumii, pe Descartes și Spinoza la a identifica substratul ontologic al naturii cu esențele geometrice, iluzie care „reifică” entități matematice care reprezintă în mod eficient fenomene naturale.

Totuși, simpla examinare a formei minkowskiene este suficientă pentru a face suspectă interpretarea realistă a spațiu-timp-ului. În mod evident, această formă este un compromis făcut pentru a asocia într-o aceeași descriere matematică aspecte ale lumii fizice care nu sînt echivalente și care, sub veșmîntul matematic comun care le este impus, lasă să se vadă totuși deosebiriile dintre ele. Schimbarea semnului atunci cînd se trece de la variabilele spațiale la variabila temporală, sau inversarea inegalității triunghiulare atunci cînd se adună geometrice vectori de gen temporal și vectori de gen spațial și cînd se urmărește normarea sumei, toate acestea indică clar o geometrie ajustată. Omogenitatea perfectă poate fi obținută, dar trebuie introdusă o variabilă complexă, căreia, în

¹ „De acum înainte, spațiul singur și timpul singur vor dispărea ca niște umbre și numai un fel de unune între cele două își va păstra o realitate independentă”, scria Minkowski. Citat de Whitrow, *op. cit.*, p. 227.

acest caz, i se potrivește destul de bine vechea denumire de „imagine”. Nu există o transformare liniară „reală” prin care o linie de gen temporal să se transforme într-o linie de gen spațial¹. Conul luminos separă direcțiile spațiu-timp-ului în două mulțimi, dintre care numai una conține direcțiile traiectoriilor „reale” ale obiectelor fizice. Altfel spus, dacă, după ontologia spațiu-timp-ului, orice obiect fizic este identificabil cu o curbă sau cu un „tub” în spațiu-timp, lumea fizică nu se proiectează decât pe o parte a varietății lui Minkowski. Dar acesta este un „realism” destul de straniu. Ceea ce este real este ansamblul geometric, dar în interiorul acestui ansamblu trebuie introdusă o graniță între real și ireal...

Adăugăm că dacă ne situăm în cadrul relativității generalizate, soluțiile ecuațiilor lui Einstein sînt locale și comportă în general singularități, cum este cazul celebrei soluții statice a lui Schwarzschild, iar racordarea ordonată a unor soluții locale nu este o problemă a cărei rezolvare ar fi dinainte garantată. Aceasta riscă să dea spațiu-timp-ului „real” o fizionomie destul de... singulară. Geometria presupusă a se identifica cu realitatea nu este totuși definită decât fragmentar. Soarele poartă cu el în Univers un tub de spațiu-timp în interiorul căruia geometria nu pătrunde. Mii de miliarde de stele încrucișînd în toate direcțiile tuburile lor singulare, ce zăpăceală pentru *Kosmotheoros*-ul care contemplă Universul cvadridimensional!

Pe scurt, dacă dorim să facem din spațiu-timp altceva decât o structură matematică care este adecvată, în anumite condiții foarte strict definite, descrierii anumitor sisteme fizice, considerate în același timp în forma și în evoluția lor, ne expunem riscului de a cădea într-un pluralism incoerent!

Spațiu-timp-ul cosmologic este din principiu considerat ca lipsit de singularități locale. Dar, pe de altă parte, cosmologia invocă motive proprii pentru a considera cu rezerve realismul spațiu-timp-ului. Nu avem decât să le recapitulăm:

1. Ipoteza timpului cosmic, ca și ansamblul ipotezelor robertsoniene, este în mod rezonabil confirmată de izotropia observată la scară foarte mare în distribuția galaxiilor, în repartiția sferică a decalajelor spectrale. Practic, toate încercările de rezolvare teoretică a problemei structurii s-au bazat pe ea. Strălucita excepție a lui Gödel confirmă regula: așa cum dorise, primul său Univers era paradoxal. El a arătat după aceea că paradoxul poate fi evitat

¹ Vezi diagrama lui Minkowski, Anexa, fig. I. Probabil nu întîmplător transformarea $x^4 = ict$, care dă formalismului o formă perfect euclidiană, nu este utilizată în cosmologie decât foarte rar, în timp ce în microfizică este folosită mult mai curent.

pentru o clasă restrinsă de modele (spațial finite, în rotație lentă). În aceste modele nu există timp cosmic în sens tare, timp cosmic *metric*, după însăși expresia lui Gödel. Eliminarea paradoxului liniilor închise de gen temporal este totuși echivalentă cu o ipoteză restrictivă asupra spațiu-timp-ului, pentru că un același parametru numeric poate întotdeauna să fie astfel ales încât relația de ordine dintre diferitele sale valori să fie congruentă orientării tuturor liniilor de gen temporal. Cit despre modelul în rotație al lui Heckmann, acesta este newtonian, ceea ce ocolește dificultatea timpului cosmic.

În situația actuală, o cosmologie fără timp cosmic ar fi deci în același timp contrară datelor de observație și obligată să se ferească cu foarte multă grijă de paradox. Este deci permis să se dea o semnificație ontologică constatării lui Hoyle că, de fapt, toate teoriile macroscopice introduc o direcție privilegiată a timpului. Dacă aceasta poate sau nu să fie în acord cu principiul general de covarianță care stă la baza teoriei relativității, aceasta este desigur o problemă delicată, care are atât aspecte matematice, cât și filozofice. Gravitatea problemei pare cu siguranță mai mică în cazul în care noțiunii de timp ca dimensiune a unei varietăți cvadridimensionale nu i se atașează o valoare ontologică, pe care nu o merită.

2. Există indicii foarte puternice că ireversibilitatea fizică observată este manifestarea locală a unui fenomen cosmic, că procesele parțiale se integrează în mod coerent într-o devenire totală, sau, altfel spus, că timpul parametru este o variabilă orientată fizic în mod univoc și universal. Desigur, raportul dintre aspectele locale și aspectele cosmice ale ireversibilității nu este încă prea clar, ca și legătura dintre această orientare fundamentală a timpului ca parametru și necesitatea geometrică de a distinge în spațiu-timp o anumită direcție temporală privilegiată. Numai teoria stării staționare dă acestei legături sensul unei proprietăți structurale a Universului, asociind generarea continuă timpului cosmic geometric, pe de o parte, și evoluției termodinamice a Universului, pe de alta.

Chiar dacă se respinge această teorie, presupunerea unei orientări fizice fundamentale a variabilei timp fixează o limită foarte netă și foarte vizibilă pentru identificarea timpului cu o entitate geometrică, pentru că există un contrast de neșters între orientarea ireversibilă și reversibilitatea esențială, caracteristică tuturor relațiilor spațiale. Avem aici confirmată prin amplificare o evidență cotidiană. Din faptul că bunul simț s-a înșelat de atâtea ori atât de rău nu rezultă că nu ar avea niciodată dreptate.

În sfârșit, în ce măsură se poate oare opune „bunul simț” realității unei lumi cvadridimensionale în care ar exista linii închise de gen temporal? Toată lumea, începînd cu Gödel însuși¹, pare a fi de acord în a recunoaște că reîntoarcerea în trecut, a cărei posibilitate geometrică decurge din existența acestor linii, implică o absurditate. Dar pentru Gödel această absurditate nu este o obiecție decisivă împotriva identificării Universului real cu un astfel de model, pentru că această călătorie ar fi *de fapt* impracticabilă și, din punct de vedere fizic (avînd în vedere energiile și vitezele pe care le-ar implica) ar fi de neconceput ca un obiect să poată fi forțat să parcurgă alte traiectorii spațio-temporale decît liniile deschise de gen temporal. (Acesta este și punctul de vedere adoptat de Einstein în răspunsul său către Gödel, atunci cînd remarcă că sensul timpului nu poate fi definit fizic decît printr-o acțiune causală care cere o anumită apropiere.) Altfel spus, chiar dacă structura gödeliană ar fi adecvată Universului real, paradoxul ar fi evitat în măsura în care liniile închise de gen temporal nu ar avea decît o existență geometrică și nu una fizică. Dar cum ar putea evita paradoxul un *realism* al spațiu-timp-ului, adică o filozofie pentru care entitățile geometrice cvadridimensionale sînt entități fizice? Și în virtutea cărui criteriu ar putea un astfel de realism să excludă ca Universul cvadridimensional să aibă tocmai structura pe care i-o conferă soluția gödeliană a ecuațiilor lui Einstein?

Se poate spune că dacă spațiu-timp-ul nu este real, nu se înțelege de ce este el o reprezentare matematică utilă. Discuția lui Robertson, pentru a nu o cita pe cea a lui Milne, a cărui ostilitate față de relativitatea generalizată putea să-i falsifice judecata, oferă un răspuns în această privință. Ea scoate în evidență faptul că intervalul spațio-temporal elementar ds^2 trebuie să fie considerat înainte de toate ca expresie formală a unei condiții de coerență și de comunicabilitate pentru operațiunile de reperare a unui eveniment punctual și instantaneu, situat la distanță față de un observator oarecare. Or această condiție se impune prin ea însăși din momentul în care se renunță la postulatul cartezian al propagării instantanee a luminii. Spațiu-timp-ul este un aranjament destinat să facă sistemul măsurătorilor independent de distanțe în timp și spațiu, fiind de la sine înțeles că informațiile despre o

¹ „Aceasta ar permite cuiva, de exemplu, scrie Gödel, să se reîntoarcă în trecut aproape de locurile unde ar fi trăit. Acolo ar întîlni o persoană care ar fi el însuși într-o anumită perioadă anterioară a propriei sale vieți și ar putea să o determine să facă ceva care ar ști din memoria lui că nu i s-a întîmplat”. A *Remark About...*, *mem. cit.*, în *E.P.S.*, p. 561.

regiune din spațiu au nevoie de un anumit timp pentru a ajunge la altă regiune. Dealtfel, proprietățile unui dispozitiv de măsură nu reprezintă o simplă copie a obiectului de măsurat.

Deoarece filozofia spațiului oscilează între realismul întinderii materiale și idealismul monadologic, iar ontologia spațiu-timp-ului este limitată de imposibilitatea de a geometriza timpul fără rezerve sau reticențe, timpul fizic apare ca reprezentarea rațională a atributului cel mai esențial al existenței fizice și, fără îndoială, al existenței pur și simplu. Prin meditația asupra cosmologiei moderne, filozoful ar fi deci condus spre o ontologie a devenirii, mai exact a *trecerii*. Elementele cele mai pure pot fi probabil găsite la Whitehead, în ideea *trecerii naturii* ca mod original de existență, prealabil oricărei *bifurcări* între ființa așa cum este și ființa așa cum este gândită.

Aportul cosmologiei la conceptul de materie-energie a fost mult mai mic decât cel al microfizicii și trebuie înțeles în perspectiva devenirii. Într-adevăr, evidența mobilității universale este aceea care a condus în cele din urmă la ipoteza generării continue. Fie că o acceptăm fie că nu, simpla existență a unei teorii coerente despre Univers, bazată pe ea, arată cât de departe este în prezent știința fizică de substanțialismul masei inerte, care i-a servit atât de des de filozofie pînă la sfîrșitul secolului al XIX-lea. Dealtfel, limitele unei viziuni nemateriale a Universului au fost clar indicate chiar de către Milne, care a împins desigur mai departe decât oricine, în era științei pozitive, încercarea de a clădi o fizică idealistă. În sistemul său, prăpastia dintre cinematică și dinamică nu este depășită decât cu ajutorul unor ipoteze pe care cu greu am putea, ca și Robertson, să nu le considerăm arbitrare.

Dar materia, existentul brut care rezistă și interzice să se identifice, oricum ai încerca-o, un *ego* și o *particulă*, nu mai are consistența și greutatea bolovanului, pe care, după o anecdotă povestită de Eddington, un interlocutor al lui Berkeley îl lovea cu furie pentru a-l combate pe subtilul episcop. Ea se numește energie, radiație, foton, neutrino, cîmp, dar și masă. Ce a devenit funcția pe care i-o atribuia Kant, de a fi substratul subiacent oricăror transformări vizibile? Toate atributele sale de permanență tind să se disloce sau să se șteargă. Îi rămîne fuga, dispersarea, uneori chiar condensarea, dar numai abandonînd întotdeauna cîte ceva dispersării universale; îi rămîne poate, de asemenea, atributul de a se naște, dar nu și acela de a dăinui.

Interpretarea neortodoxă — unii ar spune aberantă — a principiului conservării de către Bondi, Hoyle sau Jordan, care îl consideră compatibil cu creația *ex nihilo*, are cel puțin consecința

de a produce o *demistificare* salutară a acestui principiu. Adversari de neîmpăcat în materie de filozofia naturii sînt în mod tacit de acord în a vedea în principiile de conservare din fizică expresia unui adevăr metafizic. Materialismul ateu proclamă eternitatea materiei; postulînd posibilitatea creației s-ar plasa natura, și prin ea omul, sub dependența supranaturalului. Invers, cosmoteologia creștină tinde să caute în metafizica conservării fizice garanția că lumea nu se poate elibera de Dumnezeu, că nu poate să se reînnoiască sau să se recreeze ea însăși fără acesta — o garanție împotriva panteismului, care a fost deseori considerat de două mii de ani încoace ca cea mai de neiertat dintre impietăți. În ceea ce privește alocuțiunea *Ex nihilo nihil fit* (din nimic-nimic), teologia inversată și teologia directă tind să fie de acord în fond, deși pentru rațiuni contrare. Dar este evident că nu pe acest teren și nu în acest mod pot să cadă de acord spiritele libere cu privire la valabilitatea acestei venerabile axiome, care în contextul științei moderne trebuie să fie precizată considerabil pentru a putea fi pusă la încercare prin analiză teoretică sau prin verificare experimentală.

III

Dacă nu este cu necesitate „imens” în sensul etimologic al cuvîntului — pentru că, dacă este finit, poate fi măsurat — Universul este totuși imens prin aceea că mărimea sa în spațiu nu are o măsură la scară umană. Există o oarecare naivitate în a celebra virtuțile eliberatoare ale cuceririlor „spațiale” ale tehnicii contemporane și multă grandilocvență în a numi „cosmice” aparate de fabricație umană care gravitează în jurul Pămîntului sau în sistemul solar. „A merge pe Lună” nu mai este un vis absurd, dar rămîne o acțiune delicată, ale cărei dimensiuni s-au restrîns pe măsură ce Universul vizibil s-a extins. Galaxia nu este decît un punct în Univers și sistemul solar nu este decît un punct în Galaxie. Dar a părăsi sistemul solar și a ne apropia de stelele din vecinătatea noastră — dintre care cea mai apropiată este la o distanță de peste două sute de mii de ori mai mare decît distanța care ne separă de Soare — este categoric un proiect supraomenesc. Ar trebui ca „navele cosmice” să poată fi accelerate pînă la viteze care să nu mai fie neglijabile în raport cu viteza luminii. La treizeci de mii de kilometri pe secundă, efectele relativiste de contracție a timpului ar fi încă practic nule și ar fi nevoie de aproximativ patruzeci de ani — cu o diferență de cîteva luni între calendarul călătorului și cel de pe Pămînt — pentru a atinge

steaua Proxima Centauri. Or aducerea unui satelit locuit la viteza de șapte sau opt kilometri pe secundă constituie astăzi un eveniment remarcabil, care este sărbătorit. Un pieton merge de patru mii de ori mai încet; el ar trebui să meargă de patru mii de ori mai repede pentru a atinge această viteză, care este modestă pentru un călător nu „cosmic”, ci pur și simplu galactic, dar înspăimântătoare dacă ne gândim la mijloacele de a o atinge și de a o stăpîni.

Stelele, Galaxia, Universul nu vor fi deci niciodată altceva decît un decor imuabil. Fără îndoială că nimeni nu va vedea vreodată Soarele pîlînd în depărtare, nici constelația Orion (Vînătorul) deformîndu-se puțin cîte puțin. Întreaga știință și tehnică care ne separă de omul primitiv nu a răsturnat această relație originară: ochiul vede ceea ce mîna nu poate atinge.

Poate tocmai pentru că nu a putut atinge, omul a crezut întotdeauna că fața lumii trebuia să-l învețe ceva despre el însuși, ceea ce a falsificat într-un fel cunoașterea atît a omului, cît și pe aceea a Universului. Are oare cosmologia în secolul al XX-lea o idee mai puțin nesigură decît în timpul lui Hesiod despre originile cosmice ale destinului uman? Unul dintre rezultatele frapante ale cercetării sale este în orice caz acela că dacă locuința omului este infimă în spațiu, la scara structurilor cosmice, durata transformărilor fizice fără de care el nu ar putea exista nu este infimă în timp, la scara evenimentelor cosmice. Am avut de mai multe ori ocazia să remarcăm că atunci cînd se caută să se evalueze durata marilor cicluri ale Universului, aproape întotdeauna se găsesc valori cuprinse între patru și cincisprezece miliarde de ani. Ideea de „generație cosmică”, care joacă un rol atît de important în cosmologia lui Hoyle, pare bine fundamentată de observație. Or vîrsta scoarței terestre este de acest ordin de mărime și geneza ființelor vii a acoperit o fracțiune care desigur nu este neglijabilă. Prin urmare, chiar dacă existența umanității înseși nu a fost pînă acum decît o scurtă strălucire în istoria chiar parțială a mediului său înconjurător, scînteia a fost îndelung pregătită. Omul are „o oarecare proporție” în Univers prin durata pregătirilor pentru apariția sa. Această descoperire contribuie la întărirea sentimentului de apropiere dintre lumea fizică și noi.

Deci, dacă dorim, în maniera lui Lemaître sau a lui Gamow, ca istoria Universului să fi fost o suită de evenimente care nu se vor mai reînnoi, sau o vor face din ce în ce mai puțin, istoria omului este un episod care, prin durata sa, nu este neglijabil și care are, în consecință, puține șanse să se repete, chiar dacă s-a produs în mai multe exemplare. Ora spiritului a sunat deja în

natură; dacă, în schimb, istoria cosmică nu este decît o suită indefinită de generații, nu există motive ca șirul care conduce la om să nu se reînnoiască în condiții care în mare sînt identice, iar în detaliu, infinit de variate. Aventura nu este însă nici scurtă, nici obișnuită: pentru a face o umanitate este fără îndoială nevoie de mai mult de o generație cosmică, căci o galaxie de hidrogen pur nu poate produce stele ca Soarele într-o singură generație.

Cosmologia dă omului și alte motive să se considere ca un avatar cosmic puțin banal, să ridice o anumită pretenție la excepțional. A spune, la vederea pustiurilor înghețate sau a pădurilor de nepătruns, că natura este „inumană” înseamnă a avea o idee prea umană despre inuman. Astăzi știința ne arată mai bine ce este contrar naturii omului, materia la distanța sa cea mai mare de spirit. În plasmăle stelare sau interstelare care formează fondul banal, materialul brut al Universului, ceea ce domină este elementul cel mai simplu și ceea ce este exclus, în general, este compunerea atomilor, existența moleculelor, arhitecturile complexe. Nici măcar atomul nu reușește să se formeze, să se mențină în forma pe care o cer combinațiile chimice, singurele care pot declanșa diferențierea structurilor materiale. Entitățile fizice complexe sînt rare.

Ele sînt și fragile. Dacă nu intervin cauze locale și accidentale de distrugere înainte ca ceasul să-i sune după orologiul astrofizicii, destinul omului poate să fie desigur foarte lung. Dar acest ceas va suna, și „sfîrșitul lumii” poate fi citit pe diagrama vechilor roiuri stelare. El va veni atunci cînd Soarele va părăsi „secvența principală”, își va lua rămas bun de la stelele calme și stabile care trăiesc din rezervele lor de hidrogen pentru a intra într-o fază de evoluție rapidă și de convulsii. Trăim prin faptul că un astru nu a ajuns încă să moară.

Raritatea este o relație, pe cînd unicitatea nu este. Dacă s-ar fi dovedit că Pămîntul este singura planetă în care materia se compune cum trebuie, ar trebui să constatăm că lumea distruge neapărat spiritul după ce neapărat l-a făcut să se nască sau l-a tolerat. Dar nu există nici un mijloc pentru a dovedi această unicitate și există cîteva motive pentru a crede că, deoarece numărul compensează raritatea unor condiții favorabile, și spiritul este în Univers o formă de existență care se repetă și se reînnoiește.

Individul disprețuiește mulțimea și vrea să fie ales în mod special pentru un destin deosebit, pe care l-ar merita. „Personalismul” contemporan face încă loc acestui mit înduioșător. Este într-adevăr șocant, dacă „nu am dat la o parte ideea de merit”, ca Gide, că hazardul aranjează lucrurile atît de bine; șocant și

neliniștitor, pentru că ceea ce face hazardul poate la fel de bine să desfacă, fără nici un fel de considerație pentru merit. Totuși, Epicur ne-a învățat că înțelepciunea începe cu această constatare. Nu rezultă de aici că hazardul este suficient pentru a face un înțelept, ci că șansa fundamentală a individului deosebit, a ființei rare, este enorma abundență a banalității. În această privință, Cosmosul, așa cum îl vedem, pare să ne aprovizioneze din plin. Printre cele șase mii de stele vizibile cu ochiul liber, omul poate figura ca o excepție de neînlocuit și de neînțeles. Unicul care merită prea mult pentru a îndrăzni să-l explicăm prin hazardul întâlnirii dintre moluște, să-l abandonăm dilatării viitoare a Soarelui fără a încerca să-i găsim vreun refugiu în afara timpului și a spațiului.

Dar în sutele de miliarde de stele ale Galaxiei, printre miliardele de galaxii care populează Universul vizibil? Nu trebuie desigur să ne încredem prea mult în aceasta. Nimeni nu-și poate imagina, chiar foarte vag, cu ce putere negativă a lui zece ar scădea probabilitatea cosmică a apariției spiritului, chiar dacă am avea vreo posibilitate de a face o estimare, ceea ce nu este cazul. Or așa cum am văzut, timpul trece în Univers și, datorită expansiunii, imobilizării materiei și a potențelor ei în stelele moarte, șansele pierdute nu se mai regăsesc.

Nu este deci surprinzător să vedem un naturalism modern reluând aici drumul tradițional al oricărui naturalism, prin postularea, odată cu generarea continuă a materiei, a unei puteri indefinite de reînnoire în natură. Dacă vrem să ieșim, nu din caverne, ci din mitul cavernelor, este suficient să înzestrăm hazardul cu tot ceea ce îi trebuie pentru a deveni creator. Or hazardul este cel mai puțin pretențios dintre demiurgi, cea mai simplă și cea mai uniformă materie îi este suficientă. Hidrogen, hidrogen și iarăși hidrogen, și spiritul va sfârși prin a apărea, pentru a dispărea și a renaște, mereu nou, în galaxii din a cincea sau a șasea generație... Odată cu Voltaire, dumnezeu din Biblie se face ceasornicar; odată cu Hoyle, anticul Pan devine „potențial de creație”. Poți să-l iubești încă și sub această formă, și să-l admiri că a devenit atit de respectuos față de matematică, că rațiunea se reîntoarce la el pentru a-și lămuri relațiile pe care le are cu devenirea.

Anexă

Convenții de notare

Coordonatele varietăților de gen spațiu-timp:

x^0, t , coordonate de gen temporal.

$x^1, x^2, x^3; x, y, z; r, \theta, \varphi$ coordonate de gen spațial.

Indicii μ, ν, \dots și orice alt indice grec pot lua valorile 0, 1, 2, 3.

Indicii latini, i, j, k , nu pot lua decât valorile 1, 2, 3.

Convenția lui Einstein: într-o expresie algebrică se sumează după orice indice care se găsește în același timp și sus și jos; exemple :

$$u^i v_{i,j} = u^1 v_{1,j} + u^2 v_{2,j} + u^3 v_{3,j},$$

$$A^\mu A_\mu = A^0 A_0 + A^1 A_1 + A^2 A_2 + A^3 A_3.$$

Simboluri de derivare: derivare parțială ordinară : $\partial_\nu = \frac{\partial}{\partial x^\nu}$;

derivare covariantă în raport cu x^ν : ∇_ν .

Derivare în raport cu variabila timp în cazul când este notată cu t , a lui $A(t)$: \dot{A} , \ddot{A} .

Notății folosite în teoriile cosmologice

După un obicei în general respectat, vom folosi litera R pentru a nota factorul de expansiune care apare în metricile „robertsoniene”. Pentru a evita confuziile, litera G va fi folosită pentru tensorii fundamentali construiți pornind de la tensorul metric $g_{\mu\nu}$, litera g pentru determinantul acestui tensor, litera γ pentru constanta newtoniană a gravitației; k va fi indicele de curbura al spațiului ($= 0, -1$, sau $+1$). În expresiile netensoriale, indicele 0 plasat jos va desemna valoarea la epoca actuală a mărimilor cosmologice; H_0 va fi constanta lui Hubble.

I. Varietăți riemanniene. Tensori asociați acestor varietăți. Derivare covariantă. Tensor de curbura (Scurtă trecere în revistă a câtorva noțiuni geometrice.)

O *varietate* V_n , diferențiabilă, de dimensiune n , de clasă C^p , este un spațiu topologic conex și separat, asupra căruia se fac următoarele ipoteze: fiecare punct P al lui V_n are o vecinătate Ω homeomorfă cu R^n (R^n : produsul topologic al mulțimii numerelor reale cu ea însăși, de n ori); acest homeomorfism permite localizarea lui P prin coordonatele x^μ ale imaginii sale în R^n . Ω este o *hartă* a lui V_n . Dacă P aparține intersecției a două hărți, cărora le corespund coordonatele u^μ, v^ν , atunci aplicația $u^\mu \rightarrow v^\nu$ a lui R^n în el însuși este de clasă C^p .

O *schimbare de coordonate admisibilă* pentru un punct P al lui V_n :

$$x'^\mu = x'^\mu(x^0, x^1, \dots, x^n) \quad (1)$$

va fi un homeomorfism de clasă C^p al lui R^n asupra lui însuși.

În aceste condiții, jacobianul aplicației (1) este diferit de zero peste tot:

$$\frac{D(x'^0, \dots, x'^n)}{D(x^0, \dots, x^n)} \neq 0. \quad (2)$$

Cu aceste ipoteze se poate demonstra că dimensiunea n a varietății este o proprietate care îi aparține intrinsec.

O *varietate riemanniană* V_4 (ne vom mărgini de acum încolo, fără excepții, să considerăm varietăți de dimensiune ≤ 4 și de o clasă suficient de înaltă pentru a putea efectua toate operațiile de diferențiere necesare în teoriile cosmologice) este o varietate diferențiabilă dotată cu *proprietăți metrice* prin introducerea formei pătratice invariante:

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu, \quad (\mu, \nu = 0, 1, 2, 3)$$

$$g_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}(x^0, x^1, x^2, x^3), \quad g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}, \quad (3)$$

$$g = \det(g_{\mu\nu}) \neq 0.$$

Clasa celor zece funcții numerice $g_{\mu\nu}$ de coordonate va fi întotdeauna considerată astfel încît toate operațiile de diferențiere să poată fi efectuate.

La transformarea de coordonate (1), diferențialele dx^μ se transformă astfel :

$$dx'^\mu = \left(\frac{\partial x'^\mu}{\partial x^\sigma} \right) dx^\sigma. \quad (4)$$

Invarianța formei (3) impune ca prin (1) funcțiile $g_{\mu\nu}$ să se transforme în

$$g'_{\mu\nu} = \frac{\partial x^\sigma}{\partial x'^\mu} \frac{\partial x^\rho}{\partial x'^\nu} g_{\sigma\rho}, \quad (5)$$

existența mărimilor $\frac{\partial x^\mu}{\partial x'^\nu}$ rezultând din (2).

Forma (3) permite să se definească în fiecare punct *tensori* asociați varietății V_4 ; ne vom mărgini să dăm câteva exemple și să definim un criteriu necesar și suficient pentru recunoașterea tensorilor, criteriu pe care se bazează dealtfel *utilitatea* lor.

Un tensor de ordinul doi, dublu *covariant*, este un ansamblu de 4^2 funcții numerice de punctele varietății, care la schimbarea de coordonate (1) se transformă astfel :

$$T'_{\mu\nu} = \frac{\partial x^\sigma}{\partial x'^\mu} \frac{\partial x^\rho}{\partial x'^\nu} T_{\sigma\rho}. \quad (6)$$

Un tensor de ordinul doi, dublu *contravariant*, se transformă astfel :

$$T'^{\mu\nu} = \frac{\partial x'^\mu}{\partial x^\sigma} \frac{\partial x'^\nu}{\partial x^\rho} T^{\sigma\rho}. \quad (7)$$

La un tensor mixt de ordinul doi T^μ_ν , indicele contravariant μ se transformă după regula (7), iar indicele covariant ν după regula (6); este evident că criteriul se poate extinde la tensori de orice ordin.

Un tensor de ordinul întâi v^ν (sau v_ν) este un *vector contravariant* (respectiv *covariant*); un tensor de ordinul doi este simetric dacă $T_{\mu\nu} = T_{\nu\mu}$ și antisimetric dacă $T_{\mu\nu} = -T_{\nu\mu}$.

Din (4) se vede imediat că dx^μ sînt componentele unui vector contravariant și că $g_{\mu\nu}$ sînt componentele unui tensor simetric covariant de ordinul doi, *tensorul metric* al varietății.

Fiind dat tensorul $g_{\mu\nu}$, dacă se definesc cele zece funcții $g^{\mu\nu}$ prin relația :

$$g^{\mu\nu} = \frac{[g_{\mu\nu}]}{g}, \quad (8)$$

unde $g = \det (g_{\mu\nu})$ și $[g_{\mu\nu}]$ este minorul corespunzător lui $g_{\mu\nu}$ în dezvoltarea lui g , în felul acesta se definește un tensor de ordinul doi contravariant, căci din (8) rezultă că

$$g_{\mu\rho}g^{\nu\rho} = g'_{\mu\rho}g'^{\nu\rho} = \delta_{\mu}^{\nu} = \begin{cases} 0 & \text{dacă } \mu \neq \nu \\ 1 & \text{dacă } \mu = \nu \end{cases} \quad (9)$$

tensor care de fapt nu este distinct de $g_{\mu\nu}$.

În general, existența tensorului metric face să nu existe o deosebire intrinsecă între tensorii sau vectorii contravarianți și cei covarianți, ci numai între componentele contravariante sau covariante ale *acelorași* tensori sau vectori.

Definiția permite să se dea reguli pentru transformarea celor două feluri de componente unele în altele :

$$\left. \begin{aligned} T_{\mu\nu} &= g_{\mu\sigma}T_{\nu}^{\sigma} \text{ (coborîrea indicelui contravariant } \sigma \text{ al lui } T_{\nu}^{\sigma}). \\ \mu^{\lambda} &= g^{\sigma\lambda}u_{\sigma} \text{ (ridicarea indicelui covariant al lui } u_{\sigma}). \\ S_{\mu\nu} &= g_{\mu\sigma}g_{\nu\lambda}S^{\sigma\lambda} \text{ (coborîrea celor doi indici contravarianți} \\ &\quad \text{ai lui } S^{\sigma\lambda}). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

De aici rezultă definirea a două operații, cea de *înmulțire contractată* a doi tensori sau vectori, și cea de *contracție* a unui tensor. Exemple :

— *Înmulțirea contractată a doi vectori u și v :*

$$W = u^{\mu}v_{\mu} = g_{\mu\sigma}u^{\mu}v^{\sigma} = u^0v_0 + u^1v_1 + u^2v_2 + u^3v_3, \quad (11)$$

W este un scalar invariant, numit *produsul scalar* al celor doi vectori.

— *Contracția unui tensor de ordinul patru $G_{\mu\nu\rho}^{\sigma}$:*

$$G_{\mu\nu} = G_{\mu\nu\sigma}^{\sigma} = G_{\mu\nu 0}^0 + G_{\mu\nu 1}^1 + G_{\mu\nu 2}^2 + G_{\mu\nu 3}^3. \quad (12)$$

Se vede că contracția transformă un tensor de ordinul p într-un tensor de ordinul $p - 2$; ea transformă un tensor de ordinul doi într-un scalar.

Produsul scalar al unui vector cu el însuși definește norma acestui vector :

$$\| u \| = u^\mu u_\mu = g_{\mu\nu} u^\mu u^\nu. \quad (13)$$

Acastă normă nu este în mod necesar pozitiv definită. Relația (13) permite interpretarea matematică a operațiunilor de măsurare efectuate în orice regiune a spațiu-timp-ului identificabilă cu un domeniu al unei varietăți riemanniene.

O varietate riemanniană este *euclidiană* dacă există o schimbare de coordonate (1) care transformă în orice punct funcțiile $g_{\mu\nu}$ din forma (3) în δ_μ^ν . Este *pseudoeuclidiană* dacă există o schimbare de coordonate care transformă funcțiile $g_{\mu\nu}$ în $\pm \delta_\mu^\nu$.

Într-o varietate neeuclidiană V_4 este întotdeauna posibil să se definească în fiecare punct formele Pfaff :

$$\theta^\mu = a_\nu^\mu dx^\nu$$

(care nu sînt diferențiale), astfel încît :

$$ds^2 = \sum_{\mu=0}^3 \pm (\theta^\mu)^2. \quad (14)$$

Numărul de semne $+$ și $-$ ale descompunerii în pătrate este o proprietate intrinsecă a varietății, *signatura* sa.

Pe o varietate euclidiană sau pseudoeuclidiană raportată la un sistem de coordonate în care componentele $g_{\mu\nu}$ nu sînt constante (de exemplu planul raportat la coordonate polare) și, cu atît mai mult, pe o varietate riemanniană oarecare, în care $g_{\mu\nu}$ nu pot fi reduse la niște constante, studiul variației unui tensor de la un punct la un punct vecin impune o definire a derivării și a diferențierii care să facă aceste operații covariante, adică independente de alegerea coordonatelor.

Acest rezultat este obținut prin definirea *conexiunii*. Ne vom mărgini să dăm formulele aplicabile atît varietăților riemanniene, cît și varietăților euclidiene, în coordonate curbilinii.

Coeficienții conexiunii:

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_{\mu\sigma\nu} &= [\mu\nu, \sigma] = \frac{1}{2} (\partial_\nu g_{\mu\sigma} + \partial_\mu g_{\nu\sigma} - \partial_\sigma g_{\mu\nu}), \\ \Gamma_{\mu\nu}^\sigma &= \{\sigma\}_{\mu\nu} = g^{\sigma\lambda} \Gamma_{\mu\lambda\nu} = \frac{1}{2} g^{\sigma\lambda} (\partial_\nu g_{\mu\lambda} + \partial_\mu g_{\nu\lambda} - \partial_\lambda g_{\mu\nu}), \\ \Gamma_{\mu\nu}^\sigma &= \Gamma_{\nu\mu}^\sigma. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Pe o varietate V_4 coeficienții Γ formează un ansamblu de 40 funcții numerice de variabile; acestea nu sînt componentele unui tensor.

Derivata covariantă:

$$\begin{aligned} \nabla_\sigma u^\mu &= \partial_\sigma u^\mu + \Gamma_{\sigma\lambda}^\mu u^\lambda, \\ \nabla_\sigma T^{\mu\nu} &= \partial_\sigma T^{\mu\nu} + \Gamma_{\sigma\lambda}^\mu T^{\lambda\nu} + \Gamma_{\sigma\rho}^\nu T^{\mu\rho} \end{aligned} \quad (16)$$

și la fel pentru orice alt indice contravariant;

$$\begin{aligned} \nabla_\sigma u_\mu &= \partial_\sigma u_\mu - \Gamma_{\sigma\mu}^\lambda u_\lambda, \\ \nabla_\sigma T_{\mu\nu} &= \partial_\sigma T_{\mu\nu} - \Gamma_{\sigma\mu}^\lambda T_{\lambda\nu} - \Gamma_{\sigma\nu}^\lambda T_{\mu\lambda} \end{aligned} \quad (16')$$

și la fel pentru orice alt indice covariant.

Din aceste definiții rezultă că derivata covariantă a unui tensor de ordinul p este un tensor de ordinul $p + 1$, ceea ce asigură independența operației de derivare față de sistemul de coordonate.

Din (15) și (16) se obține:

$$\begin{aligned} \nabla_\sigma g_{\mu\nu} &= 0, \\ \nabla_\lambda g_{\mu\nu} T &= g_{\mu\nu} \nabla_\lambda T \quad (T, \text{ tensor oarecare}). \end{aligned} \quad (17)$$

Aceasta este *teorema lui Ricci*. Ea arată că derivarea covariantă anulează efectele variației tensorului metric și operează intrinsec asupra mărimilor geometrice.

Contractînd indicele de derivare covariantă cu un indice al tensorului derivat se obține *divergența tensorială*.

Exemplu :

$$\nabla_\nu T^{\mu\nu} = \nabla_0 T^{\mu 0} + \nabla_1 T^{\mu 1} + \nabla_2 T^{\mu 2} + \nabla_3 T^{\mu 3}. \quad (18)$$

Geodezicele :

Pe o varietate riemanniană există curbe care generalizează dreptele varietăților euclidiene; acestea sînt *geodezicele*. Ele pot fi definite ca fiind curbele al căror vector unitar tangent se deplasează paralel cu el însuși; un vector u^λ se deplasează paralel cu el însuși dacă :

$$u^\lambda \nabla_\lambda u^\mu = 0.$$

Dacă $u^\mu = \frac{dx^\mu}{ds}$ este vectorul tangent la curbă, ecuația geodezicelor se scrie :

$$\frac{d^2 x^\nu}{ds^2} + \Gamma_{\mu\sigma}^\nu \frac{dx^\sigma}{ds} \frac{dx^\mu}{ds} = 0. \quad (19)$$

Aceste curbe, care joacă un rol foarte important în teoriile cosmologice, au, printre altele, următoarele proprietăți remarcabile, dealtfel bine cunoscute în mecanică și în teoria suprafețelor :

1. Fiind dat punctul P al lui V_4 , există întotdeauna o vecinătate a lui P pe varietate astfel încît prin orice punct al acestei vecinătăți și prin P trece o geodezică și numai una.

2. Fiind date două puncte A și B ale lui V_4 , integrala $\int_A^B ds$ atinge un *extremum* pe arcul AB format de geodezica ce trece prin aceste două puncte.

Pe varietățile a căror formă (3) nu este pozitiv definită există geodezice cu ecuația :

$$ds = 0, \quad (20)$$

care nu sînt descrise de formula (19); acestea sînt traiectoriile fotonilor în teoria relativității și în toate teoriile cosmologice.

Studiul variației coeficienților Γ ai conexiunii pe o varietate riemanniană conduce la definirea unui tensor fundamental de ordinul 4, *tensorul Riemann-Christoffel*, care exprimă o proprietate

geometrică intrinsecă a varietății și care, datorită faptului că generalizează conceptele teoriei suprafețelor, se mai numește și *tensor de curbura*. Ne vom mărgini să-i dăm formula :

$$G_{\mu\nu\sigma}^{\tau} = \partial_{\nu}\Gamma_{\mu\sigma}^{\tau} - \partial_{\sigma}\Gamma_{\mu\nu}^{\tau} + \Gamma_{\mu\sigma}^{\alpha}\Gamma_{\alpha\nu}^{\tau} - \Gamma_{\mu\nu}^{\alpha}\Gamma_{\alpha\sigma}^{\tau}. \quad (21)$$

Contractînd în (21) indicii σ și τ — vezi (12) — se obține tensorul lui Ricci (cu semn schimbat¹) :

$$G_{\mu\nu} = G_{\mu\nu\lambda}^{\lambda}. \quad (22)$$

Din (21) rezultă că $G_{\mu\nu}$ este un tensor simetric.

Contractînd $G_{\mu\nu}$ se obține un scalar invariant care, abstracție făcînd de semn, este *curbura riemanniană scalară* a varietății :

$$G = G_{\mu}^{\mu} = g^{\mu\nu}G_{\mu\nu}. \quad (23)$$

Pe o varietate euclidiană sau pseudoeuclidiană, tensorii și scalarii (21), (22) și (23) sînt identic nuli.

În cazul general, tensorul Riemann-Christoffel satisface o identitate diferențială remarcabilă, identitatea lui Bianchi :

$$\nabla_{\lambda}G_{\mu\nu\sigma}^{\tau} + \nabla_{\nu}G_{\mu\sigma\lambda}^{\tau} + \nabla_{\sigma}G_{\mu\lambda\nu}^{\tau} = 0. \quad (24)$$

Folosind regulile de contractare a tensorilor și teorema lui Ricci, această relație se poate pune sub forma :

$$\nabla_{\lambda} \left(G_{\sigma}^{\lambda} - \frac{1}{2} g_{\sigma}^{\lambda} G \right) = \nabla_{\lambda} S_{\sigma}^{\lambda} = 0. \quad (25)$$

Tensorul S_{σ}^{λ} este numit tensorul lui Einstein și (25) exprimă faptul că divergența sa tensorială este nulă. Această relație este fundamentală în relativitatea generalizată, unde servește la exprimarea principiului conservării energiei.

II. Teoria relativității restrînse (principii și relații fundamentale)

Această teorie dezvoltă consecințele a două axiome introduse de Einstein, primul care a înțeles și a demonstrat cu toată clarita-

¹ În cosmologie, autorii scriu de obicei ecuațiile lui Einstein cu tensorul (22), și nu cu tensorul lui Ricci al geometriilor, $-G_{\mu\nu}$, obținut prin contractarea indicilor τ și ν în (21).

tea că combinarea lor este posibilă și necesară pentru coerența conceptelor fundamentale ale fizicii și acordul lor cu experiența, cu toate că aceste axiome par la prima vedere să ducă la rezultate stranii, chiar paradoxale. Aceste axiome sînt :

1. *Invarianța vitezei luminii*, a cărei măsurare dă rezultate independente de viteza relativă a sursei și a observatorului.

2. *Principiul relativității restrînse*. Dacă numim sistem inerțial orice sistem aflat în repaus sau în mișcare rectilinie și uniformă în raport cu axele lui Copernic, nici o experiență fizică efectuată în interiorul unui astfel de sistem nu poate pune în evidență starea de mișcare relativă (rectilinie și uniformă) a acestui sistem în raport cu un altul.

Din aceste două axiome, luate împreună, rezultă că intervalele de lungime și intervalele de timp dintre obiectele și evenimentele fizice nu mai sînt proprietăți intrinseci, mărimea lor depinzînd de observator.

Transformarea Lorentz între două sisteme inerțiale stabilește corespondența dintre măsurătorile de timp și de lungime ; alegînd axa x în direcția vitezei relative a celor două sisteme, ea se scrie astfel :

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (26)$$

Ansamblul transformărilor de acest tip formează un grup, *grupul Lorentz*.

Din formula (26) se vede imediat că teoria relativității restrînse exclude orice viteză de deplasare a unei acțiuni materiale superioară vitezei luminii.

Din (26) rezultă că intervalul spațio-temporal s^2 definit prin :

$$s^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = c^2 t'^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2 \quad (27)$$

este un invariant al transformării Lorentz.

Plecînd de aici, este posibil să se dea teoriei o formă geometrică, presupunînd că putem reprezenta cadrul spațio-temporal al fenomenelor fizice printr-o varietate pseudoeuclidiană V_4 , care se scrie :

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2. \quad (28)$$

Această varietate este numită spațiu-timp-ul lui Minkowski.

Mărimile fizice sînt atunci, din punctul de vedere al acestei teorii, scalari, vectori sau tensori asociați acestei varietăți.

Din (28) decurg imediat diferite consecințe importante:

Coeficienții metricii fiind constante, geodezicele date de ecuațiile (I, 19) și (I, 20) sînt drepte. Primele sînt traiectorii spațio-temporale, sau linii de univers ale sistemelor inerțiale sau galileiene, iar celelalte sînt traiectorii ale luminii. Datorită semnăturii sale :

$$+ - - - \quad (28')$$

se spune că varietatea este de formă hiperbolică normală. Forma pătratică ds^2 nu este pozitiv definită; din această cauză există trei feluri de geodezice, de-a lungul cărora avem, respectiv:

a) $ds^2 < 0$. Acestea sînt drepte de *gen spațial*; nici o acțiune fizică nu se poate propaga de-a lungul lor;

b) $ds^2 = 0$. Acestea sînt traiectoriile fotonilor;

c) $ds^2 > 0$. Acestea sînt traiectoriile particulelor galileiene. Ele sînt de *gen temporal*.

Mulțimea geodezicelor b) care trec printr-un punct dat descriu în spațiu-timp un con (tridimensional) care separă trei domenii (cvadridimensionale):

Trecutul, mulțimea punctelor-evenimente P care pot fi legate cu O printr-o acțiune fizică exercitată în sensul PO .

Viitorul, mulțimea punctelor-evenimente Q care pot fi legate cu O printr-o acțiune fizică exercitată în sensul OQ .

Și restul, mulțimea punctelor-eveniment care nu pot fi legate cu O prin nici o acțiune fizică¹.

Această împărțire în domenii spațio-temporale este o proprietate intrinsecă a varietății și nu depinde de sistemul ales. Transformările grupului Lorentz fac ca o axă de gen temporal să treacă într-o axă de gen temporal și, respectiv, o axă de gen spațial într-o altă axă de același tip, dar nu pot face ca o axă de gen temporal să treacă într-o axă de gen spațial.

Axiomele teoriei și expresia lor geometrică, relațiile (26), (27) și (28), au consecințe importante în întreaga teorie fizică.

În ceea ce privește *electromagnetismul*, teoria relativității restrînse permite, fiind singura care reușește, o exprimare geometrică satisfăcătoare a principiilor sale, dînd o expresie tensorială ecuațiilor lui Maxwell și înlăturînd orice deosebire de natură între cîmpul electric și cîmpul magnetic; ea nu schimbă nimic din conținutul acestor ecuații.

¹ Vezi fig. I, p. 495.

În schimb, în ceea ce privește *cinematica* și *dinamica*, mult timp considerate de filozofia naturii ca științe directe, relativitatea restrînsă a impus o revizuire a conceptelor lor fundamentale, mai ales a celor de *viteză*, *masă* și *energie* și, prin conceptul de energie, întreaga fizică a fost pusă în discuție.

— Din forma spațio-temporală (28) rezultă că deplasarea în spațiu și deplasarea în timp a unui obiect fizic sînt două aspecte ale unui aceluiași fenomen cinematic. De aici noțiunea de *viteză* ca cvadrivector atașat varietății (28), vector ale cărui componente contravariante sînt pentru o particulă punctuală de coordonate t, x, y, z , într-un sistem galileian :

$$u^0 = \frac{cdt}{ds} ; u^1 = \frac{dx}{ds} ; u^2 = \frac{dy}{ds} ; u^3 = \frac{dz}{ds}$$

sau, în notație tensorială :

$$u^\mu = \frac{dx^\mu}{ds} . \quad (29)$$

— Prin simpla schimbare a sistemului galileian, un corp care era „în repaus” devine „în mișcare” și astfel pare a căpăta *energie cinetică* ; totuși schimbarea sistemului nu îl influențează intrinsec. O teorie covariantă trebuie deci să precizeze natura și modul de transformare a mărimii fizice, care, într-un anumit sistem, apare ca impuls și energie cinetică.

În felul acesta sîntem conduși la a atribui unui corp, într-un sistem galileian în care este în repaus, o *energie de repaus*

$$E_0 = m_0 c^2, \quad (30)$$

m_0 fiind coeficientul care măsoară inerția corpului în acest sistem, „masa sa de repaus”.

Energia E nu este un invariant, ci se transformă astfel la o transformare Lorentz (26) :

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} . \quad (31)$$

Nici masa nu este un invariant, ci se transformă astfel :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} . \quad (32)$$

Rezultă relația covariantă dintre masă și energie :

$$E = mc^2. \quad (33)$$

Ecuția precedentă, stabilită de Einstein în 1905, domină întreaga fizică contemporană; ea unifică cele două principii de conservare, a masei și a energiei. Verificările sale experimentale sînt numeroase.

III. Relativitatea generalizată

Teoria relativității restrinse nu dădea principiului relativității mișcării decît o aplicare limitată. Pe de altă parte, Einstein, în acord în această privință cu Mach, nu se declara satisfăcut de o definiție a inerției care făcea din aceasta o proprietate intrinsecă, absolută, a corpurilor, în timp ce experiența arăta că forțele de inerție se compun cu cele care rezultă din interacțiunile dintre corpuri, în special gravitația, și par prin efectele lor observabile cu totul echivalente cu aceste forțe¹. Aceste considerații, împreună cu altele, l-au condus la căutarea unei teorii geometrice a gravitației, în care existența unui cîmp gravitațional să fie exprimată matematic prin structura metrică a spațiu-timp-ului.

Mai precis, Einstein a construit această teorie în acord cu următoarele trei axiome :

1. *Covarianța* : Forma legilor fizice trebuie să fie independentă de alegerea coordonatelor care permit reperarea în spațiu-timp.

2. *Echivalența* : Forțele de inerție sînt de aceeași natură cu forțele de gravitație.

3. *Determinarea metricii de către materie* : Proprietățile metrice ale spațiu-timp-ului sînt determinate în fiecare punct de distribuția maselor și a energiei în vecinătatea acestui punct.

În plus, teoria trebuia să conducă în primă aproximație la rezultate identice cu cele ale teoriei newtoniene a gravitației, remarcabil de bine confirmate de experiență, ceea ce l-a determinat pe Einstein să caute o ecuație comparabilă cu ecuația Poisson din teoria newtoniană :

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \Delta \Phi = 4\pi\gamma\rho, \quad (34)$$

unde Φ este potențialul gravitațional, iar ρ , densitatea masei în punctul considerat. Această ecuație se reduce, pentru cazul ex-

¹ Spre exemplu, pentru un satelit artificial al Pămîntului, forțele de inerție anulează pur și simplu greutatea.

terior (un punct situat în vid, în exteriorul corpului care produce acțiunea), la ecuația lui Laplace :

$$\Delta\Phi = 0.$$

Einstein a fost deci determinat să scrie, în 1915, ecuațiile relativiste ale gravitației, cunoscute astăzi sub numele de *ecuațiile lui Einstein*, sub forma :

$$G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} G = - \kappa T_{\mu\nu} \quad \kappa = \frac{8\pi\gamma}{c^4}. \quad (35)$$

În primul membru recunoaștem *tensorul lui Einstein* (vezi I, 25) al unei varietăți riemanniene V_4 , de structură (I, 3). În cel de-al doilea membru, *tensorul energie-impuls* sau *tensorul material*, $T_{\mu\nu}$, reprezintă ansamblul proprietăților energetice ale conținutului material al spațiu-timp-ului în punctul considerat.

Acordul cu teoria relativității restrinse cere ca varietatea cu metrica $g_{\mu\nu}$ să fie de formă hiperbolică normală în orice punct în care acesteia i se conferă o semnificație fizică (II, 28').

În cazul exterior, adică într-un punct al spațiului vid care înconjură distribuția materială considerată, tensorul $T_{\mu\nu}$ este nul și ecuațiile lui Einstein devin :

$$G_{\mu\nu} = 0. \quad (36)$$

Din condiția (I, 25) rezultă că divergența tensorială a lui $T_{\mu\nu}$ este nulă : acesta este principiul conservării materiei-energiei.

Tensorul lui Einstein, $G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} G$, nu este singurul care satisface condiția (I, 25) și ansamblul axiomelor teoriei. Se poate demonstra că tensorul cel mai general care satisface toate aceste condiții este :

$$G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} G + \Lambda g_{\mu\nu},$$

unde Λ este o constantă ; aceasta este *constantă cosmologică*, numită astfel pentru că Einstein a introdus-o în ecuațiile sale, în 1917, în vederea rezolvării problemei cosmologice.

Ecuatiile lui Einstein capătă atunci forma :

$$G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} G + \Lambda g_{\mu\nu} = -\kappa T_{\mu\nu}. \quad (37)$$

Tensorul $T_{\mu\nu}$ depinde de natura distribuției materiale considerate. În teoriile cosmologice nu se ia în general în considerație decât cazul *fluidului perfect*, pentru care tensorul energie-impuls se scrie sub forma :

$$T^{\mu\nu} = (c^2 \rho + p) u^\mu u^\nu - p g^{\mu\nu}, \quad (38)$$

ρ și p fiind respectiv densitatea și presiunea fluidului în punctul considerat, iar u^μ avînd sensul din (II, 29).

Generalizarea principiilor de *extremum* din fizica clasică conduce în relativitatea generalizată la *legea geodezicelor* :

În vecinătatea sau în interiorul distribuțiilor de materie-energie, corpul de probă descrie geodezicele (I, 19) ale varietăților de metrică $g_{\mu\nu}$, soluții ale ecuațiilor lui Einstein (35, 36, sau 37). Fotonii descriu geodezicele $ds = 0$ ale acestor varietăți.

Problema generală a integrării ecuațiilor lui Einstein este extrem de dificilă și determinarea explicită a soluțiilor nu este posibilă decât într-un număr restrîns de cazuri. Cel mai cunoscut este cel al *soluției lui Schwarzschild pentru cazul exterior*.

Această soluție definește potențialul gravitațional produs în vidul înconjurător de o masă punctuală sau sferică, omogenă, presupunînd ca condiții la limită că $g_{\mu\nu}$ iau la infinit valori galileiene; în coordonate polare avînd originea în centrul masei, obținem :

$$ds^2 = c^2 dt^2 \left(1 - \frac{2m}{r} \right) - \frac{dr^2}{1 - \frac{2m}{r}} - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2. \quad (39)$$

Mărimea m , care în (39) are dimensiunile unei lungimi, măsoară, într-un sistem de unități convenabile, masa centrală.

Se vede că :

a. Relația (39) prezintă o singularitate pe sfera $r = 2m$.

b. Pentru ca relația (39) să satisfacă local condiția de compatibilitate cu spațiu-timp-ul Minkowski, trebuie ca $1 - \frac{2m}{r} > 0$; soluția nu are deci sens fizic în interiorul sferei $r = 2m$.

Se demonstrează că soluția (39) rămâne valabilă, oricare ar fi transferurile de masă și de energie în interiorul sferei centrale, cu condiția ca aceste transferuri să nu altereze simetria sferică a distribuției (teorema lui Birkhoff, 1923).

Aplicând relația (39) la problema mișcării planetelor în jurul Soarelui se găsește, cu ajutorul principiului geodezicelor, că traiectoria lor diferă puțin de elipsele kepleriene printr-o mișcare seculară a periheliului. Se obține astfel o explicație perfect satisfăcătoare a mișcării planetei Mercur, justificând un insucces al mecanicii cerești clasice. Într-adevăr, acțiunea perturbatoare a altor planete nu explica decât parțial precesia periheliului acestei planete.

— Cu metrica (39), geodezicele luminii $ds = 0$ sînt curbate în vecinătatea masei centrale. Aceasta este cauza devierii razelor luminoase care trec în apropierea Soarelui, efect verificat cu o precizie destul de bună în cursul mai multor eclipse solare (prima observație : Eddington și colaboratorii, 1919).

— Datorită factorului $1 - \frac{2m}{r}$, care apare în coeficientul lui dt^2 al metricii (39), frecvența unei surse luminoase determinate se deplasează spre roșu atunci cînd sursa se apropie de centru. Este *efectul Einstein*, observabil astăzi în cîmpul gravitațional terestru, datorită deplasării anumitor linii de rezonanță nucleară cvasi-monocromatice (efectul Mössbauer) — Pound și Rebka (1960).

IV. Elementul ds^2 al lui Robertson-Walker. Relații fundamentale ale cosmologiei robertsoniene

Cosmologia structurală, bazată sau nu pe teoria relativității generalizate, presupune în general că spațiu-timp-ul cosmic, *substratum*-ul metric al Universului, poate fi identificat, într-o primă aproximație, cu o varietate riemanniană V_4 , a cărei metrică poate fi pusă sub forma :

$$ds^2 = \sigma^2 dt^2 - R^2(t) d\sigma^2, \quad (40)$$

unde $R(t)$ este o funcție numerică pozitivă, derivabilă, de variabila t , a cărei natură va fi precizată mai jos, iar $d\sigma^2 > 0$ este metrica unei varietăți riemanniene V_3 de curbura constantă.

Explicitînd $d\sigma^2$ cu ajutorul unor coordonate adecvate, asupra cărora vom reveni, relația (40) se scrie :

$$ds^2 = c^2 dt^2 - \frac{R^2(t)}{\left(1 + \frac{kr^2}{4}\right)^2} (dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2), \quad (41)$$

unde $k = \begin{cases} -1 \\ 0 \\ +1 \end{cases} \quad 0 \leq r, 0 \leq \theta \leq \pi, 0 \leq \varphi \leq 2\pi.$

Din punct de vedere al dimensiunilor fizice, ds^2 are dimensiunea L^2 , $R(t)$ are dimensiunea L , iar r , φ , θ sînt adimensionale.

Formula (41) pentru ds^2 a fost stabilită de Robertson (1929) în cadrul teoriei relativității generalizate. În urma dezvoltării teoriei relativității cinematice, Robertson și Walker au arătat însă, în mod independent (1936), că relația (41) poate fi construită fără a face apel la toate axiomele specifice relativității generalizate, pe baza altor axiome, străine acestei teorii. Iată, fără a fi vorba de exhaustivitate sau de rigurozitate perfectă, *axiomele robertsoniene*, a căror expresie formală este dată de (41) :

A. Spațiu-timp-ul cosmic este pretutindeni identificabil cu o varietate riemanniană V_4 de formă hiperbolică normală.

B. Lumina parcurge geodezicele $ds = 0$ ale acestei metrici.

C. În cadrul acestei varietăți V_4 se poate distinge o familie de geodezice (T), care sînt traiectoriile de univers ale particulelor *substratum*-ului material și care au următoarele proprietăți :

1. Două curbe ale familiei (T) (linii de timp) nu se întretaie, cu excepția poate a unui punct, în care se intersectează toate. Printr-un punct oarecare nu trece decît o singură geodezică a familiei (T).

2. Există o familie (E) (hipersuprafețe „spațiale”) de varietăți V_3 , ortogonale pe toate curbele (T). Date fiind două varietăți ale familiei (E), E_1 și E_2 , o curbă oarecare T a familiei (T), notînd cu

t_1 și t_2 intersecția lui T , cu E_1 și E_2 , intervalul $s = \int ds$ luat pe

T între t_1 și t_2 nu depinde atunci decît de E_1 și E_2 ; acesta este intervalul de *timp cosmic*, care este identic cu timpul propriu al oricărei particule care parcurge o linie (T). Această axiomă este adesea numită „principiul lui Weyl” (Weyl, 1923), sau, mai general,

„postulatul timpului cosmic”. Adoptarea acestui postulat revine la a face din separarea timpului de spațiu o proprietate intrinsecă a varietății cosmice V_4 . Curbele (T) sînt numite deseori „geodezicele lui Weyl” sau „liniile de univers ale materiei”.

D . Varietățile V_3 , ortogonale geodezicelor (T), sînt varietăți cu adevărat riemanniene, omogene, izotrope în orice punct, de curbură riemanniană scalară constantă (vezi I, 23); axioma D reprezintă forma geometrică a *principiului cosmologic*.

Robertson a arătat că ansamblul propozițiilor precedente formează un tot coerent, care poate fi construit cu ajutorul teoriei grupurilor prin „metoda operațională”, adică pornind de la un ansamblu de postulate referitoare la posibilitatea de a efectua măsurători ordonate și comunicabile fără echivoc, între observatori situați la distanță în spațiu-timp. Aceste postulate sînt o generalizare a celor din care Helmholtz și Lie obținuseră forma generală a oricărei varietăți metrice tridimensionale în care se pot face măsurători coerente.

În formula (41), t reprezintă *timpul cosmic*, iar r, θ, φ coordonate spațiale *comobile* (co-moving), adică astfel încît o particulă a *substratum*-ului cosmic, parcurgînd o geodezică a lui Weyl, nu își modifică coordonatele spațiale.

Numărul k , egal cu 1, 0, sau -1 , este indicele de curbură al varietății spațiale. Dacă $k = 0$, spațiul este euclidian, „plat” și infinit. Dacă $k = +1$, el este hipersferic, „închis”, finit. Dacă $k = -1$, el este hiperbolic, „deschis”, infinit. Axiomele robertsoniene nu permit nici o afirmație directă cu privire la infinitatea spațială a Universului.

Există o infinitate de schimbări ale coordonatelor spațiale care conservă forma (40) pentru (41), păstrînd în același timp caracterul comobil al coordonatelor; le dăm aici pe cele mai obișnuite:

$$\text{Scriind } \bar{r} = \frac{r}{1 + \frac{kr^2}{4}}, \text{ obținem }^1:$$

$$d\sigma^2 = \frac{dr^2}{1 - k\bar{r}^2} + \bar{r}^2 d\theta^2 + \bar{r}^2 \sin^2 \theta d\varphi^2. \quad (42)$$

¹ Această schimbare de coordonate nu este, nici pentru $k = 1$, nici pentru $k = -1$ un homeomorfism al numerelor reale pozitive asupra lor inele; pentru a justifica folosirea sa ar fi necesară o discuție topologică.

Dacă $k = 1$, $0 \leq \bar{r} \leq 1$ și $\bar{r} = \sin \chi$, avem¹:

$$d\sigma^2 = d\chi^2 + \sin^2 \chi d\theta^2 + \sin^2 \chi \sin^2 \theta d\varphi^2. \quad (43)$$

$$0 \leq \chi \leq \pi$$

Dacă $k = -1$, $\bar{r} = \text{sh } \chi$ (sh = sinus hiperbolic), avem:

$$d\sigma^2 = d\chi^2 + \text{sh}^2 \chi d\theta^2 + \text{sh}^2 \chi \sin^2 \theta d\varphi^2. \quad (44)$$

$$-\infty < \chi < +\infty$$

Metrica (41) permite, fără nici o altă ipoteză, și prealabil oricărei determinări a lui k și $R(t)$, definirea unor relații remarcabile care formează baza oricărei confruntări a cosmologiei teoretice cu observația astronomică.

Decalajul spectral.

Dacă observatorul situat în origine primește la momentul t_0 un foton care a pornit la momentul t_1 din sursa de coordonată radială r_1 și la momentul $t_0 + \Delta t_0$ un alt foton pornit la momentul $t_1 + \Delta t_1$, vom avea relațiile:

$$\int_{t_1}^{t_0} \frac{dt}{R(t)} = \frac{1}{c} \int_0^{r_1} \frac{dr}{1 + \frac{kr^2}{4}} = \int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_0 + \Delta t_0} \frac{dt}{R(t)}. \quad (45)$$

Relația (45) rezultă din (41) în virtutea axiomei B, ținând seama că r_1 este independent de t , că $R(t) > 0$ și că timpul cosmic crește de la t_1 la t_0 , iar r de la 0 la r_1 . Deoarece Δt_0 și Δt_1 sînt foarte mici în raport cu $t_0 - t_1$, relația (45) implică:

$$\frac{\Delta t_1}{R(t_1)} = \frac{\Delta t_0}{R(t_0)}. \quad (46)$$

Dacă S este o sursă de natură fizică determinată, monocromatică, iar Δt_1 este perioada sa într-un sistem de referință legat de particula r_1 de care este atașată, este natural să postulăm că această perioadă este egală cu cea măsurată în origine pentru o

¹ Alegerea intervalului de variație se bazează pe o ipoteză arbitrară din punct de vedere al topologiei globale a spațiului, anume că punctele „antipozi”, $\chi = 0$ și $\chi = \pi$, sînt distincte; unii autori preferă să le identifice. În primul caz, spațiul este numit „sferic”; dacă antipozii se identifică, el se numește „eliptic”.

sursă de aceeași natură situată în permanență în origine. Diferența dintre Δt_0 și Δt_1 se traduce deci, în origine, printr-un decalaj de frecvență între sursa îndepărtată și sursa locală de referință.

În termeni de lungime de undă și notînd cu λ lungimea de undă la emisie într-un sistem în care sursa este în repaus și cu $\Delta\lambda$ decalajul observat în O , (46) se scrie sub forma :

$$1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 1 + z = \frac{R(t_0)}{R(t_1)}. \quad (47)$$

Se vede că decalajul spectral z este, ca și în efectul Doppler clasic, independent de λ . Pe de altă parte, t_1 fiind anterior lui t_0 în timp cosmic, z este pozitiv, deci spectrul se deplasează spre roșu dacă $R(t)$ este o funcție crescătoare (Univers în expansiune). Renunțînd la indicele 1 în (45), (46), (47) și scriînd R în loc de $R(t)$, R_0 , \dot{R}_0 , \ddot{R}_0 în loc de $R(t_0)$, $\dot{R}(t_0)$, $\ddot{R}(t_0)$ și notînd $\alpha = H_0$, $H_0 = \frac{\dot{R}_0}{R_0}$, $\beta = \frac{\ddot{R}_0}{R_0}$, $q_0 = -\frac{R_0\ddot{R}_0}{\dot{R}_0^2}$, se obțin pentru R și z dezvoltările în serie pînă la ordinul al doilea :

$$R = R_0 \left[1 - \alpha(t_0 - t) + \frac{1}{2} \beta(t_0 - t)^2 + \dots \right] \quad (48)$$

$$z = \alpha(t_0 - t) + \frac{1}{2} [2\alpha^2 - \beta] (t_0 - t)^2 + \dots \quad (49)$$

Spre deosebire de R_0 și $t_0 - t$, z este o mărime măsurabilă.

Pentru ca relațiile (48) și (49) să poată fi folosite în vederea unei confruntări cu observația astronomică, trebuie definit un concept de *distanță*, care să țină cont de faptul că luminozitatea aparentă a unei galaxii, mărime măsurabilă, este afectată nu numai de depărtarea sa, ci și de deplasarea spre roșu. Se definește astfel o *distanță-luminozitate* D , aleasă în așa fel încît să poată înlocui, în formulele astronomice, distanța în sensul clasic al cuvîntului. Dacă r este coordonata radială a galaxiei, iar z decalajul său spectral, distanța-luminozitate D se definește la timpul t prin relația :

$$D = R_0 (1 + z) \frac{r}{1 + \frac{kr^2}{4}} \quad (50)$$

(definiția lui McVittie).

Eliminarea lui r dă dezvoltarea în serie pînă la ordinul al doilea a lui D în funcție de z :

$$D = \frac{cz}{H_0} \left[1 + \frac{1}{2} (1 - q_0) z + \dots \right]. \quad (51)$$

În cazul clasic, euclidian ($k = 0$) și static ($z = 0$), distanța în sensul obișnuit al cuvîntului este, din (45), $R_0 r$; ea coincide cu D .

În acest caz este evident că, deoarece z și H_0 sînt nule, formula (51) nu mai are sens.

În cazul general, se vede din (51) că dacă ne mărginim la primul ordin, D și z sînt proporționale; este interpretarea teoretică a legii lui Hubble, H_0 fiind *constantă lui Hubble* sau *constantă de recesiune*. Pe de altă parte, dacă r este mic, atunci și z este mic; în expresia (50), zr și r^2 devin neglijabile, iar D diferă puțin de distanța clasică $R_0 r$. Se vede astfel în ce sens limitat și aproximativ este deplasarea spre roșu „proporțională cu distanța”.

Elementul de volum al spațiului tridimensional la timpul t este, după (41):

$$dV = \frac{R^3(t)r^2 \sin \theta}{\left(1 + \frac{kr^2}{4}\right)^3} dr d\theta d\varphi. \quad (52)$$

Dacă $k = 1$, volumul total al spațiului la timpul t este finit și se calculează imediat cu ajutorul coordonatelor (43):

$$V = R^3 \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \int_0^\pi \sin^2 \chi \sin \theta d\chi d\theta d\varphi = 2\pi^2 R^3. \quad (53)$$

Axiomele robertsoniene nu impun aprioric nici o ipoteză referitoare la distribuția unor particule discrete (de exemplu galaxiile) între geodezicele lui Weyl, care formează un ansamblu continuu; mai general, fiind pur geometrice și cinematice, ele nu permit nici un fel de raționament cu privire la proprietățile dinamice ale Universului.

Adăugînd la aceasta, în virtutea *principiului cosmologic*, ipoteza unei distribuții uniforme a particulelor între geodezicele lui Weyl și ipoteza conservării numărului de particule, în elementul de *volum-coordonată* (independent de R și, în consecință, de t),

vom avea pentru numărul de particule din acest element, la orice moment :

$$dN = \frac{nr^2 \sin \theta}{\left(1 + \frac{kr^2}{4}\right)^3} dr d\theta d\varphi, n = \text{const.} \quad (54)$$

Numărul de particule repartizate în domeniul :

$$r \in [0, r_1], \theta \in [0, \pi], \varphi \in [0, 2\pi]$$

este :

$$N = 4\pi n \int_0^{r_1} \frac{r^2 dr}{\left(1 + k\frac{r^2}{4}\right)^3}. \quad (55)$$

Coordonata r a unei galaxii este legată prin ansamblul relațiilor precedente de caracteristicile sale observabile, *magnitudinea aparentă* și *deplasarea spre roșu*. În principiu, numărarea galaxiilor pînă la o anumită magnitudine limită — deci pînă la o anumită coordonată r_1 — ar trebui să permită cu ajutorul formulei (55) determinarea lui k , de care depinde valoarea integralei. Dar aplicarea practică a acestui test este dificilă.

Efectul de orizont în modelele robertsoniene.

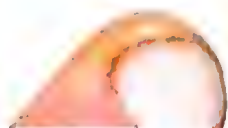
Deoarece „viteza” de expansiune nu este mărginită superior de valoarea constantei c , ne putem aștepta, după forma funcției $R(t)$, ca observatorul situat în origine să nu poată primi oricînd fotoni provenind din toate punctele spațiului, chiar dacă se presupune că aștrii au emis întotdeauna radiații. Imaginea sa vizuală va putea fi mărginită de un „orizont”, fie spre viitor, fie spre trecut.

Cu notațiile din IV, 45, avem pe parcursul fotonului pornit la momentul t_1 din punctul de coordonată radială r și sosit la momentul t_0 în origine :

$$I(t_1, t_0) = \int_{t_1}^{t_0} \frac{dt}{R(t)} = F(r).$$

Problema orizontului se poate deci pune în două moduri :

1. Există oare, pentru orice t_1 și pentru orice r , un timp t_0 ? Altfel spus, un foton plecat de oriunde și oricînd ajunge cu necesitate în O ?



Aceasta depinde de comportarea integralei $I(t_1, x)$ atunci cînd x tinde spre infinit. Dacă diverge, adică dacă $R(t)$ este un infinit mare de ordin mai mic sau egal cu t , se poate găsi întotdeauna un t_0 astfel încît I să atingă orice $F(r)$. Dacă, dimpotrivă, ea converge spre o limită $L(t_1)$, nici un foton pornit la t_1 din r , astfel încît $L(t_1) < F(r)$, nu va ajunge în O . $L(t_1)$ este o funcție descrescătoare de t_1 , astfel încît orice punct din Univers va sfîrși prin a se „deconecta” de origine la o anumită epocă cosmică. Aceasta se produce dacă $R(t)$ este un infinit de ordin superior lui t , adică dacă expansiunea se accelerează indefinit.

2. Există oare pentru orice r și pentru orice t_0 un timp t_1 sau, altfel spus, poate observatorul din O să primească în orice moment semnale provenind din tot Universul?

Răspunsul este afirmativ dacă $R(t)$ este mărginit și nenul pe întregul interval $[-\infty, t_0]$; într-adevăr, în acest caz integrala $I(t_0, x)$ poate fi extinsă asupra acestui întreg interval și diverge. Dacă $R(t)$ se anulează înainte de t_0 , se poate presupune $R(0) = 0$. Dacă în cazul acesta $I(t_0, x)$ diverge cînd x tinde spre 0, se poate alege întotdeauna t_1 astfel încît I să depășească în valoare absolută orice funcție $F(r)$ și O primește la momentul t_0 fotoni provenind din întreg Universul. Dar dacă $R(t)$ este un infinit de ordin inferior lui t , integrala converge și există o întreagă parte a Universului de unde O nu va primi semnale decît după momentul t_0 . Este ceea ce se petrece în modelul Einstein-de Sitter (vezi mai jos), în care $R(t) = \text{const} \cdot t^{2/3}$ și în care un observator care ar aștepta suficient de mult timp ar asista la o „generare aparentă” de galaxii la orizontul cîmpului său de observație.

Modelul liniar, $R(t) = ct$, este singurul Univers în expansiune în care răspunsul la cele două întrebări este afirmativ.

V. Elementul ds^2 al lui Robertson în relativitatea generalizată. Ecuațiile lui Friedman

În relativitatea generalizată, în virtutea principiului lui Mach (III, 3), proprietățile geometrice ale unei varietăți de forma (IV, 41) nu pot fi separate de anumite ipoteze asupra Universului considerat ca distribuție de materie-energie. Istoric, metrica (IV, 41) a fost descoperită în cadrul relativității generalizate printr-o ajustare progresivă a *ipotezelor geometrice* și a *ipotezelor fizice*, care au fost separate explicit pentru prima oară de Friedman în 1922.

Ipotezele fizice compatibile cu această metrică revin la a considera că conținutul material al Universului este identificabil cu

un fluid perfect, descris de ecuațiile (III, 38), ocupînd totalitatea spațiu-timp-ului cosmic.

Folosind ipotezele geometrice și notațiile din (IV), tensorul (III, 38) capătă forma :

$$T_0^0 = c^2 \rho; \quad T_1^1 = T_2^2 = T_3^3 = -p; \quad T_\nu^\mu = 0, \quad \forall \mu \neq \nu, \quad (56)$$

unde $c^2 \rho$ este densitatea de materie-energie prezentă sub formă de masă sau de radiație, iar p , presiunea fluidului.

Ecuațiile lui Einstein (III, 37) devin în acest caz :

$$\Lambda - \frac{kc^2 + \dot{R}^2 + 2\ddot{R}}{c^2 R^2} = \kappa p \quad (57a)$$

$$-\Lambda + 3 \frac{\dot{R}^2 + kc^2}{c^2 R^2} = \kappa c^2 \rho, \quad (57b)$$

unde $\kappa = \frac{8\pi\gamma}{c^4}$, γ este constanta newtoniană a gravitației, iar Λ , constanta cosmologică.

Vom numi ecuațiile (57) *ecuațiile lui Friedman*, pentru că Friedman este cel care le-a explicat pentru prima oară, în 1922, pentru cazul $k = 1$, $p = 0$.

Se vede imediat din (57) că $\rho = \rho(t)$ și $p = p(t)$, adică ρ și p sînt, pentru o epocă cosmică dată, constante în tot spațiul, ceea ce confirmă compatibilitatea dintre aspectul geometric și aspectul fizic al *principiului cosmologic* în cosmologia lui Friedman.

Notînd cu V elementul de volum (IV, 52), integrat, de exemplu, pe domeniul :

$$r \in [0, 1], \quad \theta \in [0, \pi], \quad \varphi \in [0, 2\pi]$$

(alegerea domeniului de integrare este arbitrară datorită principiului cosmologic) și punînd $dV = \text{const}$, $d(R^3) =$ diferențiala volumului V considerat ca funcție de timpul cosmic¹, $E = c^2 \rho V$, *energia* conținută în acest volum, ecuația de conservare (I, 25), aplicată la (57) se scrie :

$$dE + p \, dV = 0. \quad (58)$$

¹ dV nu are decît acelasi sens ca în (IV, 52).

Forma acestei ecuații este remarcabilă și foarte importantă din punctul de vedere al termodinamicii Universului lui Friedman. Ea este de fapt identică cu aceea care descrie în fizica clasică expansiunea sau contracția *adiabatică* a unui gaz perfect. Totul se petrece ca și cum fluidul cosmic „ar lucra” împotriva „forțelor exterioare”. Pe de altă parte, deoarece (58) este o transformare adiabatică, ea ar putea fi și o transformare *izentropică* dacă structura internă a fluidului cosmic ar fi suficient de simplă. Într-adevăr, cauzele obișnuite ale ireversibilității în transformările adiabactice locale (cele care țin de interacțiunea sistemului cu mediul) sînt eliminate în cazul fluidului cosmic. În aceste condiții, Universul, deși este un sistem izolat, ar putea să evolueze indefinit fără variație de entropie; aplicarea relativității la Universul considerat în ansamblul său impune deci o revizuire a conceptului clasic de „moarte termică”.

Integrarea ecuațiilor lui Friedman (57) nu se poate face explicit decît dacă au fost determinate nu numai condițiile inițiale pentru R și \dot{R} , ci și :

1. Relația dintre ρ și p ; 2. valoarea lui Λ ; 3. cea a lui k .

În ceea ce privește punctul 1, în general se iau două cazuri extreme :

a) $p = 0$; „Univers de praf”. Aceasta este desigur o bună aproximație a Universului actual la scară cosmologică, avînd în vedere densitatea mică a radiației și valoarea mică a vitezelor *locale* ale obiectelor cosmice de masă mare, în raport cu viteza luminii ;

b) $c^2 \rho = 3p$; „Univers de lumină”, în care nu mai există energie condensată în masă ; s-ar putea ca această ipoteză să corespundă anumitor stări excepționale ale Universului.

Cît despre punctul 2, orice am face, decizia rămîne arbitrară. Valoarea lui Λ nu rezultă nici din axiomele specifice ale relativității generalizate, nici din axiomele robertsoniene.

În principiu, punctul 3 ar putea fi rezolvat, în cadrul robertsonian, prin observație, prin numărările (IV, 55), independent de ecuațiile lui Friedman. Pînă acum această determinare nu a fost posibilă, de unde rezultă interesul unei discuții asupra formei soluțiilor $R(t)$ pentru diferite perechi de valori k, Λ .

Înainte de a trece la aceasta, să examinăm pe scurt condițiile necesare pentru o soluție *statică* $R(t) = \text{const.}$ Adunînd (57 a) și (57 b) se obține :

$$\frac{2k}{R^2} = \kappa(c^2 \rho + p). \quad (59)$$

Dacă se exclude posibilitatea unei presiuni negative, care nu corespunde nici unei proprietăți observate a Universului, se vede că :

— dacă $k = 0$, relația (59) implică $\rho = 0$, $p = 0$; ecuațiile lui Friedman nu sînt aplicabile decît unui Univers static vid ;

— dacă $k = -1$, relația (59) este imposibilă : așa cum a demonstrat Friedman, nu există o soluție statică a ecuațiilor sale într-un Univers hiperbolic (1924) ;

— dacă $k = 1$, există o soluție statică, $R = \text{const}$ și Λ este determinată (Einstein 1917) ; vezi mai jos, p. 462.

Să facem acum o discuție succintă asupra formei soluțiilor $R(t)$ în funcție de valorile lui k și Λ . Pentru a simplifica, ne vom mărgini la cazul $p = 0$ și, prin urmare, din (58), $\rho = \frac{\text{const}}{R^3}$.

Să punem (57 b) sub forma

$$\frac{3\dot{R}^2}{R^2} = \Lambda - \frac{3k}{R^2} + \frac{A}{R^3} = \Lambda - X(R), \quad (60)$$

$$A = \text{const} = \kappa c^2 \rho_0 R_0^3 > 0,$$

se vede că, după valorile lui k și Λ , vor exista sau nu valori ale lui R care vor face expresia $\Lambda - X(R)$ negativă și nu vor putea avea nici o semnificație fizică. Dacă astfel de valori nu există, expansiunea ar putea fi monotonă, dar dacă există, mișcarea de expansiune va trebui să se inverseze atunci cînd R va atinge anumite valori pe care nu va putea să le „traverseze”. Universul va trebui să „oscileze”.

a) Dacă $k \leq 0$, $X(R)$ este negativ, monoton, crescător pe tot intervalul $R \in [0, \infty]$. Deci, dacă $\Lambda \geq 0$, $\Lambda - X(R) > 0$, de unde o expansiune indefinită ; dacă $\Lambda < 0$, $\Lambda - X(R)$, mai întîi pozitivă, se va anula pentru o valoare finită R_{max} a lui R și R va oscila între 0 și R_{max} .

b) Dacă $k = 1$, discuția este mai complicată¹, pentru că $X(R)$ are un maxim pentru o valoare finită $R = R_e$, de unde existența unei valori critice pentru Λ , $\Lambda_e = X(R_e)$. Dacă $\Lambda > \Lambda_e$ (căci \dot{R} este nul pentru $R = R_e$), atunci sau R rămîne în permanență egal cu R_e (modelul static al lui Einstein), sau R crește de la 0 la R_e atunci cînd t tinde spre infinit, sau R crește de la R_e la infinit, atunci cînd t variază de la minus la plus infinit (modelul lui Lemaitre-Eddington). Dacă $\Lambda < \Lambda_e$, oscilează de la 0

¹ Vezi fig. II.

la R_1 , sau de la R_2 la infinit¹. În legătură cu această discuție, din fig. II reiese în plus că forma funcției $X(R)$ exclude ca R să poată oscila între două valori finite. Tolman a demonstrat că acest lucru rămâne valabil chiar atunci când presiunea nu este nulă, cu toate că forma funcției $X(R)$ nu mai este aceeași în acest caz.

VI. Modele robertsoniene

Din infinitatea de metrice de tipul (IV, 40), există unele care se impun atenției, fie prin simplitatea lor sau prin vreo altă proprietate deosebită, fie printr-o adecvare mai satisfăcătoare la datele cele mai precise de observație. Unele dintre aceste modele remarcabile sînt soluții ale ecuațiilor lui Friedman, altele nu. Vom trece în revistă cîteva dintre ele, adoptînd următorul clasament, oarecum arbitrar: A) Modele statice; B) Modele nerelativiste în expansiune; C) Modele relativiste în expansiune sau modelele lui Friedman.

A. $R(t) = R_0 = \text{const.}$ Este evident că în aceste modele $z = 0$ (IV, 47). Nu se observă nici un decalaj spectral de origine cosmologică, ceea ce duce la eliminarea lor ca reprezentare chiar aproximativă a Universului real.

1. Spațiu-timp-ul lui Minkowski (II, 28) este o metrică robertsoniană statică pentru $k = 0$. Dar, conform (V, 59), el nu este o soluție a ecuației lui Friedman, decît pentru un Univers vid ($\rho = p = 0$), ceea ce, împreună cu absența deplasării spre roșu, ne conduce la concluzia că, cu tot remarcabilul succes al relativității restrinse ca teorie fizică locală, această metrică nu poate fi considerată ca aplicabilă la scară cosmologică.

2. Cu $k = 1$, se obține *Universul închis al lui Einstein* (1917)²

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R_e^2 (d\chi^2 + \sin^2 \chi d\theta^2 + \sin^2 \chi \sin^2 \theta d\varphi^2),$$

$$0 \leq \chi \leq \pi. \quad (61)$$

Luînd $p = 0$ în (V, 57), se vede că:

$$\Lambda_e = \frac{1}{R_e^2} = \frac{4\pi\gamma\rho_0}{c^2} \quad (62)$$

¹ În toată această discuție sensul timpului este arbitrar. Friedman, care ignora deplasarea spre roșu a nebuloaselor, conduce de altfel discuția fără nici o ipoteză asupra sensului variației. Faptul că fenomenele observate indică o expansiune conduce la presupunerea că timpul este orientat ca și R , adică, pe figura II, de la stînga la dreapta.

² Vezi, nota de la p. 454.

Cunoașterea lui ρ_0 , mărime care în principiu se poate deduce din observații, determină deci „raza Universului” R_e și constanta cosmologică Λ_e . Caracterul static al Universului lui Einstein este de fapt mai mult aparent decît real; acest model este într-adevăr instabil față de o mică variație a lui R_e (Eddington, 1930). Într-adevăr, combinînd în mod convenabil formulele (57 a) și (57 b) și punînd $p = 0$, se obține

$$6\ddot{R} = R(2\Lambda c^2 - 8\pi\gamma\rho).$$

Valoarea de echilibru a lui ρ este evident cea care anulează paranteza; dacă intervine o ușoară contracție (sau expansiune), ρ crește (respectiv scade), \ddot{R} devine negativ (respectiv pozitiv) și contracția (respectiv expansiunea) continuă.

B. Există două metrici robertsoniene remarcabile care au servit ca expresie formală celor două principale teorii cosmologice deductive, relativitatea cinematică și teoria stării staționare, care însă nu sînt soluții ale ecuației lui Friedman pentru $\rho \neq 0$.

1. *Modelul liniar al lui Milne.* Modelul de univers al relativității cinematice corespunde în formalismul robertsonian modelului $k = -1$, $R(t) = ct$, adică

$$ds^2 = c^2 dt^2 - c^2 t^2 (d\chi^2 + \text{sh}^2 \chi d\theta^2 + \text{sh}^2 \chi \sin^2 \theta d\varphi^2) \quad (63)$$

$$(R_0 = ct_0, \dot{R}_0 = c, H_0 = \frac{1}{t_0}, \ddot{R}_0 = q_0 = 0).$$

Expansiunea este liniară și metrica nu este definită pentru $t = 0$; ea nu este soluție a ecuațiilor lui Friedman dacă $\rho \neq 0$.

Cu privire la semnificația acestui model în teoria lui Milne, a se vedea mai jos, secțiunea IX.

2. *Modelul lui de Sitter și teoria stării staționare.* Teoria stării staționare, în virtutea *principiului cosmologic perfect*, particularizează metrica (IV, 41) luînd $k = 0$, $R(t) = R_0 \exp [H(t - t_0)]$,

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R_0^2 e^{2H(t-t_0)} (dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2) \quad (64)$$

$$(\dot{R}_0 = HR_0, H = H_0, \ddot{R}_0 = H_0^2 R_0, q_0 = -1).$$

Această metrică este definită și nu are singularități pentru $-\infty < t < \infty$.

Ea este staționară, în sensul că o schimbare de coordonate $t = t' + \tau$ și o schimbare a scării lungimilor, $R_0 = R'_0 \exp(-H\tau)$, face ca metrica (64) să-și păstreze forma, ceea ce exclude posibilitatea determinării prin observație a datei cosmice absolute. *Principiul cosmologic perfect* exclude posibilitatea ca mărimile măsurabile să fie variabile cu timpul; din (64) se vede că H_0 și q_0 sînt independente.

Dacă se folosește metrica (64), numărul de particule în sfera coordonată de rază 1 (sferă constituită de mulțimea punctelor avînd coordonata radială comobilă $r = 1$) este după formula (IV, 55):

$$N = \frac{4\pi r}{3}.$$

Dar, la momentul t , observatorul fundamental din O atribuie în unitățile sale de măsură sferei S raza $R(t)r = R(t)$ și volumul $\left(\frac{4}{3}\right)\pi R^3$, [$R^3 = R_0^3 \exp 3H(t - t_0)$]. În sfera sa unitate proprie (de rază 1 și de volum $\left(\frac{4}{3}\right)\pi$ în unitățile sale de măsură), el numără deci $N' = \frac{N}{R^3}$ particule.

Dacă deci se presupune că N este constant, din aplicarea combinată a principiului de conservare și a principiului cosmologic, rezultă că N' va scădea cu expansiunea. Această consecință este însă în contradicție cu principiul cosmologic perfect, pentru că implică faptul că aspectul Universului se modifică cu timpul. În virtutea acestui principiu trebuie deci să punem:

$$N' = \frac{N_0}{R_0^3} = \text{const}; \text{ de unde } N = N_0 \exp 3H(t - t_0), \quad (65)$$

ceea ce fixează rata generării continue de materie-energie:

$$\frac{\dot{N}}{N} = 3H. \quad (65')$$

Din principiul cosmologic perfect nu se poate trage nici o concluzie cu privire la raportul dintre N_0 și H , adică cu privire la raportul dintre densitatea efectivă și expansiune. T.S.S. nu este

o teorie dinamică. Vom vedea mai târziu că această relație poate fi stabilită în schimb în teoria lui Hoyle.

Cu valoarea dată de Oort pentru ρ_0 și cea dată de Sandage pentru H , se obține, din (65) și (65'), rata de generare extrem de mică de 10^{-48} grame pe cm^3 și secundă.

Referindu-ne la discuția generală asupra efectelor de orizont, vedem că în modelul lui de Sitter, în care $R_0 = R(t_0)$, limita integralei $I(t_0, x)$ pentru x tinzând spre infinit este $\frac{c}{R_0 H}$. Deoarece, pe de altă parte, $F(r) = r$, coordonata radială comobilă a orizontului, pentru fotonul pornit la momentul cosmic t_0 , este :

$$r_0 = \frac{c}{R_0 H}.$$

Nici un semnal pornit la această dată sau după această dată de la o galaxie de coordonată radială mai mare decât r_0 nu va ajunge la observatorul din O . Distanța $R_0 r_0 = \frac{c}{H}$ poate servi drept unitate cosmică de lungime; este ceea ce Hoyle numește *cut-off radius*, adică raza de trunchiere. În modelul lui de Sitter, nu există în schimb orizont înspre trecut: observatorul din O poate primi în orice moment semnale provenind din tot Universul: într-adevăr, $I(t_0, x)$, egal cu $-r$ când $x < t_0$, tinde spre minus infinit când x tinde spre minus infinit.

Metrica (64) nu este o soluție a ecuațiilor lui Friedman decât pentru $\rho = 0$. Ea nu poate fi considerată deci în relativitatea generalizată decât ca o valoare asimptotică a anumitor modele în care expansiunea se accelerează indefinit și densitatea tinde spre zero. Cu toate acestea, ea a fost propusă ca o soluție a ecuațiilor lui Einstein de către de Sitter (1917), care căuta să combată ipoteza lui Einstein după care introducerea termenului în Λ în ecuațiile câmpului (III, 37) excludea orice soluție într-un univers vid de materie-energie. Dar de Sitter nu folosea coordonatele lui Robertson.

Alegînd coordonate care nu sînt comobile, dar care permit compararea cu Universul lui Einstein (61), metrica (64) poate fi scrisă :

$$ds^2 = c^2 \cos^2 \chi dt^2 - R_s^2 (d\chi^2 + \sin^2 \chi d\theta^2 + \sin^2 \chi \sin^2 \theta d\varphi^2), \quad (66)$$

$$0 \leq \chi \leq \pi$$

unde R_s este o constantă. Metrica (66) face ca modelul să pară *static*, așa cum l-a văzut de fapt de Sitter. Pe de altă parte, ter-

menul $\cos^2\chi$ creează un „orizont” pentru $\chi = \frac{\pi}{2}$. În 1925, Lemaître și, independent, Robertson în 1928, au descoperit forma (64) a metricii. Cu aceste coordonate, modelul încetează de a mai apărea static, rămânând totuși staționar în sensul definit mai sus.

C. Modele relativiste nestatice.

În toate aceste modele, vom presupune pentru simplificare că $p = 0$. Această ipoteză este de altfel legitimă, așa cum am mai spus, având în vedere starea actuală a Universului observat, iar discuția cazului general arată cel mai adesea că această restricție nu modifică esențial aspectul soluțiilor, cu toate că, natural, diferența este foarte importantă din punct de vedere termodinamic.

1. *Modelul lui Einstein-de Sitter*¹. Luând, în afară de $p = 0$, și $k = 0$, $\Lambda = 0$ în ecuațiile lui Friedman și integrându-le, se obține modelul relativist în expansiune cel mai simplu, a cărui metrică este :

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R_0^2 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{4/3} (dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2) \quad (67)$$

$$\left(H_0 = \frac{\dot{R}_0}{R_0} = \frac{2}{3} \frac{1}{t_0}, \quad q_0 = -\frac{R_0 \ddot{R}_0}{\dot{R}_0^2} = \frac{1}{2} \right).$$

Ca și modelul liniar, acest Univers prezintă o singularitate la momentul $t = 0$. Deoarece expansiunea se încetinește încontinuu, această singularitate este „apropiată”. Vîrsta Universului reprezintă exact două treimi din inversul constantei lui Hubble, $t_0 \simeq 9 \cdot 10^9$ ani.

Este principala obiecție care i se poate aduce acestui model, pentru că valoarea pe care o prevede pentru q_0 corespunde destul de bine ultimelor estimări ale lui Baum și Sandage.

Pe de altă parte, relația (V, 57 b) dă

$$\frac{8\pi\gamma\rho_0}{3H_0^2} = 1. \quad (68)$$

2. *Un model închis oscilant*² (Friedman 1922, Einstein 1931). Luând din nou $p = 0$, $\Lambda = 0$, dar $k = 1$, trebuie să obținem

¹ Vezi fig. III.

² Vezi fig. IV.

(vezi fig. II) un model în care R oscilează între 0 și o valoare finită R_{\max} . Aceasta se poate verifica direct din (V, 57 b), care se scrie :

$$\dot{R}^2 = \frac{K - 3c^2 R}{3R} \quad (K = 8\pi\gamma R_0^3 \rho_0 = \text{const}) \quad (69)$$

și care implică

$$R \leq \frac{K}{3c^2}.$$

Cum $p = 0$ și $k = 1$, masa Universului este finită și constantă (V, 58) și egală, din (IV, 53), cu $2\pi^2 \rho_0 R_0^3$, iar $K = \frac{4\gamma M}{\pi}$. R poate fi numit „raza” hipersferei pulsante. Maximul său este determinat de masa Universului.

Ecuția (69) se integrează fără dificultăți. Curba $R(t)$ este o cicloidă a cărei ecuație se scrie, alegînd originea unghiurilor astfel încît la $t = 0$, $R = 0$:

$$ct = \frac{2\gamma M}{3\pi c^2} (\varphi - \sin \varphi), \quad (70)$$

$$R = \frac{2\gamma M}{3\pi c^2} (1 - \cos \varphi).$$

Perioada, $T = \frac{4M\gamma}{3c^3}$, este, ca și raza, proporțională cu masa Universului.

Ca și în modelul lui Einstein-de Sitter, metrica are o singularitate la momentul $t = 0$ și, cum $\ddot{R} < 0$ sau $q_0 > 0$, epoca cosmică actuală t_0 este mai mică decît $\frac{1}{H_0}$. Este însă imposibil de definit relația dintre t_0 și H_0 (vezi fig. IV).

O nouă singularitate apare la momentul $t = T$, la sfîrșitul contracției care se declanșează în mod continuu, la $t = \frac{T}{2}$. Dacă se identifică momentele 0 și T , timpul cosmic este finit; universul este ciclic în sens tare.

Presupunînd din nou $\Lambda = 0$, $p = 0$, dar $k = -1$, se obține modelul deschis în expansiune indefinită :

$$R = \frac{8\pi\gamma\rho_0 R_0^3}{c^2} (\operatorname{ch} \Psi - 1),$$

$$ct = \frac{8\pi\gamma\rho_0 R_0^3}{c^2} (\operatorname{sh} \Psi - \Psi),$$
(70')

originea lui Ψ fiind aleasă în așa fel încît $R = 0$, la momentul $t = 0$. La infinit, $\frac{dR}{dt}$ este egal cu $\operatorname{th} \Psi$, adică cu 1. Expansiunea tinde să devină liniară. Acest model comportă și o origine singulară la un anumit interval în trecut, inferior lui $\frac{1}{H_0}$. Studiat de

Einstein în 1945, el a servit ca substrat cosmogoniei lui Gamow (Gamow a reținut totuși posibilitatea unei valori foarte ușor pozitive a lui Λ , ceea ce accelerează expansiunea începînd de la o anumită epocă și permite să se împingă singularitatea puțin mai departe în trecut). Lifshitz a arătat că în acest model condensarea materiei este imposibilă numai prin acțiunea gravitației.

3. *Modelul Lemaître-Eddington (1927) și modelul Lemaître (1931)*¹. Presupunînd $p = 0$, $k = 1$, dar $\Lambda = \Lambda_e$, Lemaître, după ce a redescoperit relațiile (V, 57), a construit o soluție pe care Eddington a adoptat-o, făcînd-o celebră. În acest model, R pleacă de la valoarea lui Einstein R_e la momentul $t = -\infty$ și se dilată indefinit. Integrarea ecuațiilor (V, 57) este posibilă și conduce la o soluție explicită de forma $t = t(R)$. Calculele sînt însă laborioase și forma funcției este complicată în detaliu, cu toate că alura curbei este foarte simplă. Cînd t tinde spre $-\infty$, R tinde asimptotic spre R_e , printr-o relație logaritmică; cînd t tinde spre $+\infty$, funcția $R(t)$ capătă forma lui de Sitter (64). În întreg intervalul $(-\infty, +\infty)$, \ddot{R} este pozitiv, deci expansiunea se accelerează fără încetare. Este clar că, în acest model, timpul istoriei cosmice este infinit și că $\frac{1}{H_0}$ nu indică nici o „vîrstă” (vezi fig. V).

Ulterior, Lemaître și-a revizuit cosmologia pentru a o face compatibilă cu cosmogonia „atomului primitiv”. Cu $\Lambda > \Lambda_e$, $k = 1$,

¹ Vezi fig. V și VI.

R variază de la 0 la $+\infty$. Metrica este singulară pentru $t = 0$. Curba prezintă o inflexiune pentru $R = R_0$, de unde cele trei faze cosmogonice ale lui Lemaitre: OA , explozia atomului primitiv și formarea norilor cosmici; AB , încetinirea expansiunii și trecerea printr-o stare de pseudoechilibru care permite condensarea galaxiilor; $B \rightarrow \infty$, epoca actuală, reluarea accelerată a expansiunii, sfârșitul marilor procese cosmogonice. În modelul lui Lemaitre, t_0 este într-adevăr „vîrsta” Universului, dar $t_0 > \frac{1}{H_0}$ (vezi fig. VI).

VII. Cosmologie relativistă robertsoniană. Universuri „în rotație” și „anizotrope”.

Ipotezele robertsoniene (IV, C, D) au inconvenientul de a introduce aprioric condiții extrem de restrictive, străine axiomaticii teoriei relativității. Pe de altă parte, în modelele robertsoniene, alegerea unei funcții $R(t)$ care se anulează pentru o valoare finită a timpului cosmic face să apară acea enigmatică *singularitate*, idee care displace fizicienilor și astronomilor. Totuși, nimic din observație nu exclude o astfel de alegere, ba chiar dimpotrivă.

Dacă se abordează problema din alt punct de vedere, cu o metodă strict relativistă, dificultățile devin rapid de nerezolvat (datorită mai ales dificultății racordării soluțiilor locale), din momentul în care se abandonează un model foarte simplificat pentru distribuția materiei-energiei cosmice.

O lărgire a cadrului robertsonian se obține păstrînd modelul fizic al fluidului perfect extins în întregul spațiu-timp, fără însă a-i restrînge aprioric posibilitățile de mișcare prin condițiile (IV, C, D). Alegînd atunci o coordonată timp x^0 astfel încît $c = 1$ și presupunînd că :

a. materia-energia cosmică este un fluid perfect, descris de ecuațiile (III, 38);

b. mișcarea sa este reperată prin coordonate *comobile*;

c. presiunea sa este nulă.

Pentru cvadrivectorul viteză a fluidului vom avea :

$$u^\mu = \delta_0^\mu; \quad u_\nu = g_{\nu\mu} u^\mu = g_{\nu 0}, \quad (71)$$

iar pentru metrica spațiu-timp-ului cosmic¹:

$$ds^2 = (dx^0)^2 + 2g_{0i}(x^j) dx^0 dx^i + g_{ij}(x^\mu) dx^i dx^j. \quad (72)$$

¹ Formula lui Heckmann-Schücking, *Handbuch der Physik*. Pentru înțelegerea formulei (72), vezi convențiile de notație de la începutul acestei anexe.

Se poate arăta că ipoteza *timpului cosmic* (IV, C) este echivalentă cu cea făcută asupra metricii (72):

Este posibil întotdeauna să se găsească o schimbare de coordonate care să anuleze identic coeficienții g_{0i} , conservând forma (72) a metricii. Se demonstrează că coeficienții g_{0i} trebuie să fie atunci componentele unui gradient, de unde relația (covariantă):

$$\partial_k g_{0i} - \partial_i g_{0k} = 0,$$

care se mai scrie și sub altă formă, prin introducerea tensorului $\omega_{\mu\nu}$:

$$\omega_{\mu\nu} \equiv \frac{1}{2} (\partial_\nu u_\mu - \partial_\mu u_\nu) \equiv \frac{1}{2} (\nabla_\nu u_\mu - \nabla_\mu u_\nu) = 0, \quad (73)$$

$$\omega_{\mu\nu} = -\omega_{\nu\mu}.$$

Prin analogie cu cinematica clasică, $\omega_{\mu\nu}$ poate fi numit *rotația* fluidului, iar ipoteza timpului cosmic se poate exprima spunând că această rotație este nulă, după cum se poate numi „model în rotație” orice model de univers în care nu este îndeplinită condiția (73).

Fiind pusă în evidență rotația, se poate continua *analiza cinematică* a fluidului cosmic (Heckmann-Schücking) introducând:

a. *Factorul de expansiune*, care este scalarul $R(x^\mu)$, definit prin

$$\frac{1}{R} \partial_\mu R u^\mu = \frac{1}{3} \nabla_\lambda u^\lambda. \quad (74)$$

b. *Tensorul de forfecare* $q_{\mu\nu}$, definit prin

$$q_{\mu\nu} = \frac{1}{2} (\nabla_\nu u_\mu + \nabla_\mu u_\nu) - \frac{1}{3} (g_{\mu\nu} - u_\mu u_\nu) \nabla_\lambda u^\lambda, \quad (75)$$

de unde

$$q_{\mu\nu} = q_{\nu\mu}, \quad q^\alpha_\alpha = 0, \quad q_{\mu\nu} u^\nu = 0.$$

Analiza cinematică dă atunci relația

$$\nabla_\nu u_\mu = (g_{\mu\nu} - u_\mu u_\nu) \frac{1}{R} \partial_\lambda R u^\lambda + \omega_{\mu\nu} + q_{\mu\nu}. \quad (76)$$

Ea permite să se clasifice un ansamblu de modele de univers mai generale decât modelele robertsoniene. Cazul robertsonian este cel în care se pune $\omega_{\mu\nu} = 0$ (ipoteza IV, C) și $q_{\mu\nu} = 0$ (ipoteza IV, D, izotropie a spațiului tridimensional). În acest caz, factorul R din (74) este identic cu factorul R din (IV, V, VI).

În cazul general (76), cu $p = 0$, ecuația lui Friedman este înlocuită de (Raychaudhuri, 1955):

$$\frac{\ddot{R}}{c^2 R} = \frac{1}{3} \left(\Lambda - \frac{4\pi\gamma\rho}{3c^2} - \varphi^2 + 2\omega^2 \right), \quad (77)$$

unde R este considerat ca funcție de timpul propriu luat pe o linie de timp de-a lungul căreia g_{0i} se anulează identic (dealtfel fără a se anula pretutindeni) și

$$-2\omega^2 = g^{ij}g^{kl}\omega_{il}\omega_{kj},$$

$$\varphi^2 = q_{\mu\nu}q^{\mu\nu}.$$

(din metrica (72) și din definiția lui $q_{\mu\nu}$ și a lui $\omega_{\mu\nu}$ rezultă că ω^2 și φ^2 sînt pozitive).

În ecuația (77), termenul în ω^2 are semn opus termenului gravitațional care conține densitatea ρ . Cu alte cuvinte, conform analogiei clasice, rotația joacă rolul unei forțe *repulsive*, de vreme ce gravitația este atractivă. În schimb, termenul de forfecare acționează în același sens ca și gravitația.

Modelul lui Gödel este cel a cărui metrică de tip (72) se scrie :

$$ds^2 = a^2 \left[(dx^0)^2 - (dx^1)^2 + \frac{e^{2x^1}}{2} (dx^2)^2 - (dx^3)^2 + 2e^{x^1} dx^0 dx^2 \right]. \quad (78)$$

Cu descompunerea

$$\theta^0 = dx^0 + e^{x^1} dx^2, \quad \theta^1 = dx^1, \quad \theta^2 = \frac{e^{x^1}}{\sqrt{2}} dx^2, \quad \theta^3 = dx^3,$$

avem

$$ds^2 = a^2 [(\theta^0)^2 - (\theta^1)^2 - (\theta^2)^2 - (\theta^3)^2],$$

ceea ce dovedește că metrica (78) are signatură corectă.

Pe de altă parte, în varietatea (78) liniile de univers ale materiei sînt deschise. Cu notațiile din capitolul prezent, din (78) se obține :

$$u^0 = \frac{1}{a}, \quad u^1 = u^2 = u^3 = 0, \quad u_0 = a, \quad u_1 = 0, \quad u_2 = ae^{x^1}, \quad u_3 = 0$$

$$\omega_{21} = -\omega_{12} = \frac{a}{2} e^{x^1}, \quad \omega_{\alpha\beta} = 0 \text{ pentru orice altă pereche } \alpha, \beta,$$

$$|\omega|^2 = \frac{1}{2a^2}$$

$$q_{\mu\nu} = 0, \text{ de unde } \varphi^2 = 0; \quad \nabla_\lambda u^\lambda = 0, \quad \partial_0 R = 0. \quad (79)$$

Metrica (78) este o soluție a ecuațiilor lui Einstein (III, 37), (III, 38), cu $p = 0$, cu condiția ca :

$$\Lambda = -\frac{1}{2a^2} = -\frac{4\pi\gamma\rho}{c^2} = -|\omega|^2 \quad (80)$$

cum se poate verifica în formula (77), luînd valorile (79) pentru ω^2 , φ^2 , $\partial_0 R$.

Modelul lui Gödel este deci :

- infinit ;
- fără timp cosmic ;
- static, fără expansiune ;
- fără forfecare ;
- „în rotație” : în fiecare punct, Universul pare să se rotească în jurul unei axe tangente la curba descrisă de x^3 .

Dacă în Universul static al lui Gödel Λ este negativ, în loc să fie pozitiv ca în Universul static al lui Einstein, aceasta se datorește faptului că acțiunea gravitației este compensată în acest caz de „forța centrifugă” dată de rotație și că menținerea echilibrului necesită o *atracție*, în timp ce în Universul lui Einstein era nevoie de o *repulsie* pentru a compensa gravitația.

Gödel a demonstrat că în acest model există *linii închise de gen temporal* : dacă P se află în viitorul lui Q pe o linie de univers a materiei, există o linie de gen temporal pe care Q se află în viitorul lui P^1 .

¹ Demonstrație, este adevărat, contestată de Chandrasekhar și Wright. Vezi bibliografia, p. 504.

Gödel a discutat în continuare proprietățile unei clase de modele „în rotație” particularizate prin următoarele axiome :

I. Soluția trebuie să fie omogenă.

II. Spațiul trebuie să fie finit : spațiul topologic ale cărui puncte sînt liniile de univers ale materiei este compact.

III. ρ nu este constant.

Din rotație rezultă o anizotropie care, în cazul în care nu este prea mare, se traduce prin împărțirea sferei de rază r în două emisfere 1 și 2, conținînd respectiv N_1 și N_2 galaxii, astfel încît :

$$\frac{(N_1 - N_2)}{N_1 + N_2} = \frac{9}{8} |\omega| \frac{rRH}{c^2}, \quad (81)$$

unde $|\omega|$ este mărimea unui vector spațial ω^i (legat de tensorul $\omega_{\mu\nu}$), care măsoară mărimea rotației, iar R și $H = \frac{\dot{R}}{R}$ au un sens analog celui din cazul robertsonian.

Deoarece $|\omega|$ poate fi calculat din vitezele de rotație ale galaxiilor, relația (81) este în principiu o relație observabilă.

În aceste soluții, mărimea rotației determină existența sau inexistența liniilor închise de gen temporal. Aceste linii nu pot exista dacă viteza liniară maximă produsă de rotație nu depășește valoarea c , adică cu aproximație dacă $|\omega| < \frac{c}{R}$ și în cazul în care varietățile $\rho = \text{const}$ diferă puțin de un spațiu de curbura constantă, egală cu $\frac{1}{R^2}$.

Expansiunea — sau contractia — este legată de rotație printr-o relație care, exprimată într-un sistem de coordonate în care $g_{00} = 1$ și $g_{i0} = 0$ de-a lungul curbei determinate de x^0 , se scrie :

$$\omega^1 h^{1/2} = \text{const} \cdot R = -\det g_{ik}. \quad (82)$$

În general, vectorul ω^i nu se deplasează paralel cu el însuși de-a lungul liniilor de univers ale materiei. Aceasta ar explica, în cazul în care rotația galaxiilor este de origine cosmică, faptul că axele lor de rotație nu coincid.

Modele anizotrope cu singularități nepunctuale.

În aceste modele, $\omega_{\mu\nu} = 0$ și relația (72) capătă forma :

$$ds^2 = (dx^0)^2 - g_{ij}(x^0) dx^i dx^j. \quad (83)$$

Schücking și Heckmann (1958) și Robinson (1961) au arătat că există o clasă de modele de tipul (83), soluții ale ecuațiilor lui Einstein (III, 35), $\Lambda = 0$, (III, 38), $p = 0$, omogene, $\rho = \rho(x^0)$, și în care forfecarea nu depinde decât de timp, $q_{ik} = q_{ik}(x^0)$. Presupunind că spațiul tridimensional ortogonal timpului cosmic este de curbura nulă, Robinson arată că se obține o soluție de forma :

$$g_{ii} = L^{2c_i/b} t^{(2/3 + 2c_i/b)} (Lt + b)^{(2/3 - 2c_i/b)}, \quad (84)$$

$$g_{ik} = 0 \text{ dacă } i \neq k,$$

unde L , c_i , b sînt constante care verifică relațiile $b^2 = \Sigma c_i^2$ și $\Sigma c_i = 0$.

Modelele (84) diferă de modelele lui Friedman numai prin aceea că factorul de expansiune este o funcție de timpul cosmic, avînd o formă diferită în fiecare din cele trei dimensiuni. Prin urmare, proprietatea cea mai remarcabilă a metricii este următoarea : cele două singularități $t_1 = 0$ și $t_2 = -\frac{b}{L}$ nu anulează în mod necesar

toate cele trei componente g_{ii} ale tensorului metric, în același timp ; ele nu sînt deci în mod necesar punctuale.

Pentru a evita o singularitate punctuală, este într-adevăr suficient ca unul din coeficienții c_i să ducă la o valoare nulă sau negativă a exponentului lui t , iar altul la același lucru pentru exponentul lui $(Lt + b)$ în expresia (84), ceea ce este compatibil cu condițiile impuse coeficienților c_i ; dacă este așa, pentru valori singulare ale lui t , expresia (84) va degenera într-o suprafață sau o linie, dar nu într-un punct.

Unele metrici de tipul (84) tind asimptotic spre metrica izotropă Einstein-de Sitter (VI, 67), ceea ce ar permite să se pună în acord izotropia actuală a Universului, și presupunerile în favoarea acestui model, cu scurtimea trecutului cosmic pe care o implică.

VIII. Cosmologie newtoniană

Spațiul este presupus infinit și euclidian, iar timpul, independent din punct de vedere metric, variînd de la $-$ la $+$ infinit ; *substratum*-ul este un fluid perfect omogen, astfel încît

$$p = p(t), \quad \rho = \rho(t). \quad (85)$$

Dacă O este o origine legată de fluid și P o particulă oarecare aparținând fluidului, omogenitatea implică de asemenea

$$\bar{V} = A(t) \cdot \bar{r} \quad (86)$$

unde $\bar{r} = \overrightarrow{OP}$, $\bar{V} = \frac{d\bar{r}}{dt}$, iar $A(t)$ este o matrice ale cărei elemente a_{ik} nu depind decât de timp.

Dacă se adaugă ipoteza izotropiei, se obține echivalentul newtonian al metricii robertsoniene; în acest caz

$$a_{ik} = f(t) \delta_{ik} \quad (87)$$

și (86) se integrează imediat, obținându-se

$$\bar{r} = R(t) \bar{r}_0, \frac{\dot{R}}{R} = f(t), R_0 = R(t_0) = 1, \bar{r}_0 = \bar{r}(t_0). \quad (88)$$

Aplicînd fluidului ecuația de continuitate, principiul de conservare capătă forma :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div } \rho \bar{V} = \frac{d\rho}{dt} + 3\rho(t) f(t) = 0, \quad (89)$$

adică

$$\rho = \frac{\rho_0}{R^3}, \quad (90)$$

ceea ce, într-o teorie care presupune spațiul euclidian și nu aplică principiul inerției energiei, este normal chiar dacă $p \neq 0$.

Pentru a merge mai departe, trebuie să aplicăm desigur fluidului cosmic legea newtoniană a gravitației. Aceasta presupune rezolvate o serie de probleme delicate referitoare la valabilitatea acestei legi pentru sistemele a căror densitate nu se anulează la infinit. Admițînd această valabilitate, ecuațiile de mișcare ale fluidului se scriu sub forma :

$$\frac{d\bar{V}}{dt} + \frac{1}{\rho} \text{grad } p - \bar{F} = 0, \quad -\bar{F} = \text{grad } \Phi, \quad (91)$$

$d\bar{V}/dt$ desemnînd derivata totală a lui (86) în raport cu timpul.

\bar{F} verifică ecuația lui Poisson (III, 34), adică $\text{div } \bar{F} = -4\pi\gamma\rho$. Ecuația (91) implică, în cazul (85), în care $\text{grad } p = 0$:

$$R^2\ddot{R} + \frac{4}{3}\pi\gamma\rho_0 = 0, \quad (92)$$

de unde se vede că, dacă Universul nu este vid ($\rho_0 \neq 0$), ecuația newtoniană (92) nu admite o soluție statică $R = \text{const.}$

Aceasta corespunde, în cosmologia relativistă, imposibilității existenței unei soluții statice a ecuațiilor lui Friedman în cazul $\Lambda = 0$. Invers, o soluție newtoniană statică devine posibilă dacă se dă ecuației lui Poisson forma:

$$\text{div } \bar{F} = -4\pi\gamma\rho + \Lambda_N, \quad (93)$$

unde Λ_N este analogul newtonian al constantei cosmologice din teoria relativității, (93) fiind analogul newtonian al ecuațiilor lui Einstein (III, 37). Λ_N și Λ diferă din punct de vedere dimensional (dimensiunea lui Λ_N este T^{-2} , iar a lui Λ este L^{-2}).

Folosindu-se (93), relația (92) devine:

$$R^2\ddot{R} + \left(\frac{4}{3}\right)\pi\gamma\rho_0 - \frac{1}{3}\Lambda_N R^3 = 0 \quad (94)$$

sau, integrând:

$$\dot{R}^2 = \left(\frac{8}{3}\right)\frac{\pi\gamma\rho_0}{R} + \left(\frac{1}{3}\right)\Lambda_N R^2 - k, \quad (95)$$

k fiind o constantă de integrare. Abstracție făcând de factorul c^2 , (95) este identică formal cu ecuația lui Friedman *pentru cazul* $p = 0$ (căci, în acest caz, și în tratarea relativistă avem $\rho = \frac{\rho_0}{R^3}$).

În relația (95) se regăsesc deci toate modelele lui Friedman cu presiune nulă. Istoric, descoperirea de către Milne a echivalenței dintre cosmologia newtoniană și cosmologia relativistă se referea la modelul Einstein-de Sitter (V, 67).

De fapt această echivalență poate fi extinsă la toate modelele relativiste în care distribuția de materie este asimilată unui fluid perfect omogen, cu presiune nulă.

Heckmann și Schücking au obținut această generalizare făcând o descompunere a matricii a_{ik} din (86), analoagă analizei cinematice a fluidului în relativitate (VII, 76):

$$a_{ik} = \frac{\dot{R}}{R} \delta_{ik} + q_{ik} + \varepsilon_{ikl} \omega_l, \quad (96)$$

(expansiune + forfecare + rotație),

unde ε_{ikl} este un tensor complet antisimetric, cu $\varepsilon_{123} = 1$.

Heckmann a studiat îndeosebi modelele newtoniene fără forfecare ($q_{ik} = 0$), dar cu expansiune și rotație. Aplicând ecuațiile (91) și (93) fluidului cosmic descris de ecuațiile (85, 86, 96) și alegînd axa x^3 ca axă de rotație, termenul care descrie rotația este de forma $\omega_3 = \frac{a}{R^2}$, $a = \text{const}$, iar pseudoecuația lui Friedman devine :

$$\dot{R}^2 = \frac{8\pi\gamma\rho_0}{3R} + \frac{\Lambda_N R^2}{3} - k - \frac{a^2}{R^2}. \quad (97)$$

Prezența ultimului termen din membrul al doilea, avînd întotdeauna semn negativ, face ca (97) să se anuleze pentru o valoare finită nenulă a lui R , care dă o limită inferioară contracției cosmice și permite trecerea normală de la contracție la expansiune, trecere imposibilă, după cum se știe, în modelele izotrope.

IX. Relativitate cinematică

În această secțiune vom adopta formalismul lui Milne, cu excepția „echivalenței tridimensionale”, adică a modelului de univers. În această privință vom renunța să reproducem raționamentele și calculele atît de întortocheate ale lui Milne și vom recurge la descrierea modelului milnean în cadrul formalismului lui Robertson (VI, 63). În prima parte, dedicată măsurării timpului etc., juxtapunerea simbolurilor trebuie înțeleasă în sensul compunerii operatorilor funcționali: $\theta\varphi(t)$ înseamnă $\theta[\varphi(t)]$.

a. MĂSURAREA TIMPULUI — CONGRUENȚA — ECHIVALENȚĂ — SUBSTRATUM

Observatorul B citește pe ceasul său timpul t'_2 și, simultan, pe ceasul lui A timpul t_1 ; el construiește funcția $t'_2 = \theta(t_1)$.

Observatorul A construiește în același fel funcția $t_3 = \varphi(t'_2)$.

Cele două ceasuri sînt congruente dacă

$$\theta \equiv \varphi, \quad (98)$$

θ și φ sînt funcțiile-semnal relative la această pereche de observatori. Dacă ceasurile sînt congruente, înseamnă că nu există decît o singură funcție-semnal pentru o pereche de observatori. Observatorii coliniari $A_p, A_q \dots$ formează o echivalență dacă

$$\theta_{pq} \theta_{rs} = \theta_{rs} \theta_{pq} \quad (99)$$

pentru orice mulțime p, q, r, s , θ reprezentînd funcțiile-semnal. Într-o echivalență liniară, funcțiile-semnal sînt de forma :

$$\theta_{pq}(t) = \Psi^{\alpha_{pq}} \Psi^{-1}(t), \quad (100)$$

unde Ψ este o funcție monoton crescătoare arbitrară, iar α sînt numere caracteristice pentru fiecare pereche de observatori.

Definirea coordonatelor :

$$t = \frac{1}{2} (t_1 + t_3), \quad (101)$$

$$r = \frac{1}{2} c(t_3 - t_1).$$

Aici, t_1 este momentul plecării semnalului, iar t_3 momentul reîntoarcerii semnalului în A . În funcțiile-semnal și în funcțiile de reetalonare a ceasurilor figurează timpurile t_i și nu timpul-coordonată t . Rezultă deci că orice schimbare a scării timpului reprezintă, în general, și o schimbare a scării spațiului.

Funcția epocă-distanță :

$$r = c\varphi_{12}(t), \quad (102)$$

unde t și r sînt coordonatele lui B măsurate de către A .

Funcția mersul-ceasurilor :

$$t' = f_{12}(t), \quad (103)$$

unde t' este timpul citit de A pe ceasul lui B în momentul în care A îi atribuie valoarea t .

În cazul unei echivalențe avem :

$$\varphi_{12} \equiv \varphi_{21} \equiv \varphi, \quad f_{12} \equiv f_{21} \equiv f. \quad (104)$$

Milne demonstrează că dacă funcțiile-semnal sînt date, funcțiile (102) și (103) sînt determinate.

Echivalența în mișcarea relativă uniformă (timpul t):

definiție,

$$\Psi(t) \equiv t;$$

funcțiile-semnal,

$$\theta_{pq}(t) = \alpha_{pq} t;$$

funcția epocă-distanță,

$$c\varphi(t) = V_{pq} t;$$

funcțiile mersul-ceasurilor,

$$f(t) = \left(1 - \frac{V_{pq}^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}} t$$

cu

$$\frac{V_{pq}}{c} = \frac{\alpha_{pq}^2 - 1}{\alpha_{pq}^2 + 1}.$$

(105)

De aici rezultă formulele lui Lorentz și formula relativistă de compunere a vitezelor.

Echivalența în repaus relativ (timpul τ):

definiție,

$$\Psi(t) \equiv t_0 \log \left(\frac{t}{t_0} \right);$$

funcțiile-semnal,

$$\theta_{pq}(t) = t + t_0 \log \alpha_{pq};$$

funcția epocă-distanță,

$$c\varphi(t) = ct_0 \log \alpha_{pq} = \text{const};$$

funcția mersul-ceasurilor,

$$f(t) \equiv f.$$

(106)

Cu toate că aceste formule sînt cele ale timpului τ (adică ale timpului galileian), simbolul τ nu apare din următorul motiv: Milne

definește timpul τ prin reetalonarea unui ceas deja etalonat în scara t , de unde apare o expresie puțin diferită, de forma :

$$\tau = t_0 \log \left(\frac{t}{t_0} \right) + t_0. \quad (107)$$

Echivalența tridimensională liniară E_3 este extinderea la trei dimensiuni a sistemului de observatori coliniari ale căror funcții-semnal sînt date de legea (100). Dificultatea acestei generalizări constă în faptul că reetalonarea ceasurilor deformează în general structura metrică a spațiului.

În formalismul robertsonian (care diferă de cel al lui Milne), relațiile metrice ale particulelor-observatori din E_3 sînt exprimate prin (VI, 63) care, în coordonate carteziene, folosind pentru coordonatele robertsoniene litere barate, se scrie :

$$ds^2 = \bar{d}t^2 - \bar{t}^2 \frac{\bar{d}x^2 + \bar{d}y^2 + \bar{d}z^2}{\left[1 - \frac{1}{4} (\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2) \right]} = \bar{d}t^2 - \bar{t}^2 \bar{d}\sigma^2. \quad (108)$$

Timpul t al lui Milne și coordonatele spațiale asociate, care exprimă măsurătorile făcute *local*, de către observatorul din punctul O , în sistemul lui E_3 definit de (105), sînt legate de \bar{t} , \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} prin relațiile :

$$t = \bar{t} \frac{1 + \frac{1}{4} (\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2)}{1 - \frac{1}{4} (\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2)}, \quad x = \frac{\bar{x}\bar{t}}{1 - \frac{1}{4} (\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2)}, \quad y = \dots \quad (109)$$

În sistemul τ al lui E_3 , definit de formula (107) aplicată timpului t în origine, adică timpului \bar{t} , (108) capătă forma

$$ds^2 = \exp \left(\frac{2(\tau - t_0)}{t_0} \right) [\bar{d}\tau^2 - \bar{t}_0^2 \bar{d}\sigma^2]. \quad (110)$$

Coordonatele t , x , y , z — în scara t — sînt după Milne cele mai potrivite pentru descrierea proprietăților fundamentale ale lui E_3 . În acest sistem de referință, elementul ds^2 ia forma din spa-

tiul Minkowski, ceea ce pune în evidență invarianța lui E_3 în raport cu grupul Lorentz.

Timpu galileian τ face ca particulele din E_3 să apară ca fiind în repaus relativ (coordonatele spațiale care figurează în $\overline{d\sigma}^2$ sînt coordonatele robertsoniene comobile). Prezența timpului t_0 în (110) arată că racordarea scării τ la scara t nu poate fi făcută decît local.

Substratum :

Distribuția vitezelor în substratum :

$$f(u, v, w) du dv dw = \frac{B du dv dw}{c^3 [1 - (u^2 + v^2 + w^2)/c^2]^2}, \quad (111)$$

unde B este o constantă arbitrară. Această formulă definește o distribuție omogenă în scara t , cu alte cuvinte f este invariant la transformarea Lorentz.

Distribuția particulelor-observatori în *substratum* :

$$N dx dy dz = \frac{Bt dx dy dz}{c^3 \left(t^2 - \frac{r^2}{c^2} \right)^2} \quad (112)$$

cu aceleași remarci ca pentru formula (111).

b. DINAMICA ÎN SCARA t

Variabilele care intră în ecuațiile dinamicii : în raport cu observatorul fundamental O , o particulă este definită cinematic prin elementele :

$$t, \bar{P}, \text{ vectorul de poziție, } \bar{V}, \text{ vectorul viteză } = \frac{d\bar{P}}{dt}.$$

În ecuații intervin combinațiile scalare ale acestor elemente :

$$X = t^2 - \frac{\bar{P}^2}{c^2}, \quad Y = 1 - \frac{\bar{V}^2}{c^2}, \quad Z = t - \bar{P} \frac{\bar{V}}{c^2}, \quad (113)$$

$$\xi = \frac{Z^2}{XY}$$

ξ este un scalar adimensional și invariant la transformarea Lorentz.

Ecuatiile de mișcare pentru o particulă liberă iau forma :

$$\frac{d\bar{V}}{dt} = \frac{Y}{X} (\bar{P} - \bar{V}t) G(\xi), \quad (114)$$

unde G este o funcție arbitrară de parametrul ξ .

Se presupune că în *substratum* trebuie luat :

$$G(\xi) \equiv -1. \quad (115)$$

Observăm că

$$\xi^{1/2} = \text{const} \quad (116)$$

este o integrală a ecuațiilor de mișcare.

Dacă m este o constantă caracteristică pentru o particulă,

$$M = m\xi^{1/2} \quad (117)$$

va defini masa sa inertă.

Dacă m_0 este o constantă caracteristică pentru o particulă *fundamentală*, atunci, în orice punct și pentru orice observator, vom avea pentru orice particulă fundamentală :

$$M = m_0. \quad (118)$$

Particula de probă care trece prin origine la momentul t cu viteza \bar{V} are masa :

$$M = \frac{m}{\left(1 - \frac{\bar{V}^2}{c^2}\right)^{1/2}}. \quad (119)$$

Pentru orice particulă fundamentală avem :

$$\xi^{1/2} = 1. \quad (120)$$

Pentru orice altă particulă :

$$\xi^{1/2} > 1. \quad (121)$$

Legea de mișcare pentru o particulă liberă poate fi scrisă și sub forma variațională :

$$\delta \int \frac{Y}{Z} dt = 0. \quad (122)$$

Definind *forța* și *lucrul mecanic* prin analogie cu conceptele clasice, obținem pentru *energia* particulei :

$$\Omega = mc^2 \xi^{1/2} = Mc^2. \quad (123)$$

Aceasta este chiar ecuația lui Einstein, însă, din motivele indicate în text, ea nu are același sens ca în relativitatea restrînsă.

Momentul cinetic față de origine al particulei situate în P :

$$\bar{H}(O) \equiv \bar{P} \wedge \bar{V}. \quad (124)$$

Dacă *forța* care acționează asupra particulei trece prin origine, acest moment are o variație cu timpul dată de formula (aproximativă) :

$$\bar{H}(O) = \bar{A}t, \quad \bar{A} = \text{const.} \quad (125)$$

c. TRANSFORMĂRI DIN SCARA t ÎN SCARA τ

Reetalonarea timpului : conform relației (107).

Formule aproximative (pentru \bar{V} mic față de c) :

Legea de mișcare pentru particula liberă :

$$\frac{d}{d\tau} \left(\frac{d\bar{\pi}}{d\tau} \right) = 0, \quad (126)$$

unde $\bar{\pi}$ este vectorul de poziție în scara τ . Aceasta este expresia clasică a principiului inerției. Absența lui t_0 din (126) rezultă din faptul că această formulă nu este decît o aproximație.

Momentul cinetic, în cazul unei *forțe* care trece prin origine :

$$\bar{h}(0) = \bar{A}t_0, \quad \bar{A} = \text{const.} \quad (127)$$

Aceasta este teorema clasică ; t_0 figurează în (127) cu tot caracterul aproximativ al formulei.

d. SISTEME STATISTICE ȘI SUBSTRATUM-UL — DETERMINAREA LUI „G”, GRAVITAȚIA (formule aproximative)

Ecuția lui Boltzmann generalizată :

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \bar{V} \frac{\partial f}{\partial \bar{P}} + \bar{g} \frac{\partial f}{\partial \bar{V}} + f \left(\frac{\partial}{\partial \bar{V}} \bar{g} \right) = 0, \quad (128)$$

$f(x, y, z; u, v, w)$ $dx dy dz du dv dw$ fiind distribuția statistică în intervalul de timp de la t la $t + \Delta t$, în câmpul de accelerație :

$$\bar{g}(\bar{P}, t, \bar{V}).$$

Condiția de invarianță în raport cu observatorii fundamentali duce la expresia :

$$f \equiv \frac{\Psi(\xi)}{c^3 X^{3/2} Y^{5/2}}, \quad (129)$$

Ψ fiind o funcție arbitrară.

Substituind în ecuația lui Boltzmann această valoare pentru f și luând pentru \bar{g} valoarea obținută din ecuația de mișcare, se obține următoarea relație între ξ , $G(\xi)$ și $\Psi(\xi)$:

$$\frac{3/2}{\xi - 1} - \frac{\Psi'}{\Psi} + \frac{G'}{1 + G} = 0, \quad (130)$$

adică

$$G(\xi) = -1 - \frac{C}{(\xi - 1)^{3/2} \Psi(\xi)}. \quad (131)$$

În continuare, presupunem că $|\bar{V}|$ și $|\bar{P}|$ sînt foarte mici în raport cu c și, respectiv, cu ct . Notăm cu S sfera :

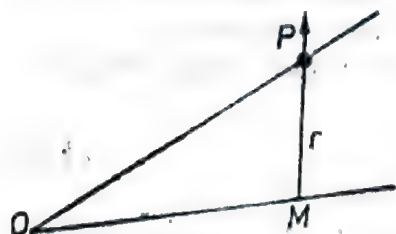


Fig. 3

— cu centrul în M , astfel încît $\overline{OM} = \bar{V}t$ (acesta este un punct din *substratum* care are aceeași viteză ca observatorul-particulă din P ; pentru acest observator el este centrul aparent al sistemului);

— de rază $r = \text{mod } \bar{r}$, unde $\bar{r} = \bar{P} - \bar{V}t$;

— de densitate egală cu cea a *substratum*-ului în O , la momentul t , adică după formula (112), egală cu $\frac{B}{c^3 t^3}$;

Dacă se substituie (131) în ecuațiile de mișcare (114), în cel de-al doilea membru se pot separa două părți :

$$(\alpha) \quad -\frac{Y}{X} (\bar{P} - \bar{V}t) \simeq \frac{-\bar{r}}{t^2}, \quad (132)$$

$$(\beta) \quad -\frac{Y}{X} \frac{C(\bar{P} - \bar{V}t)}{(\xi - 1)^{3/2} \Psi(\xi)} \simeq C \frac{r}{r^3} \frac{c^3 t}{\Psi(1)}. \quad (133)$$

Or, (β) sugerează prin forma sa o acțiune gravitațională a sferei S . (α) ar fi deci acțiunea gravitațională asupra lui P a sferei S considerată ca o parte a *substratum*-ului, iar (β) acțiunea sferei S considerată ca centru al unui sistem statistic. Din (α) se obține deci :

$$\frac{\gamma}{r^2} \frac{4\pi m_0 B r^3}{c^3 t^3} = \frac{r}{t^2}, \quad \gamma = \frac{c^3 t}{M_0}, \quad (134)$$

γ , „constanta” gravitației, ar fi deci o funcție de timp, crescând proporțional cu timpul t . Cit despre (β) , această relație ar exprima acțiunea unei condensări de masă $\frac{CM_0}{\Psi(1)}$.

X. Hoyle-Dirac-Jordan

a. HOYLE

Principiul comun tuturor încercărilor lui Hoyle în domeniul cosmologiei structurale este de a modifica ecuațiile lui Einstein (III, 37), prin introducerea unui tensor suplimentar, astfel încît :
 a . ele să exprime generarea continuă de materie ;
 b . să facă în așa fel încît metrica lui de Sitter (VI, 64) să fie o soluție a ecuațiilor modificate. Ultima din aceste încercări (1960) se bazează pe introducerea unei ecuații covariante a cîmpului generării, legat cantitativ de existența materiei-energiei :

$$\square \varphi = K \rho, \quad \square \varphi \equiv \nabla_\mu \nabla^\mu \varphi, \quad (135)$$

$K = \text{const}$, φ scalar, funcție de punct,
unde $C_{\mu\nu} = \partial_\mu \partial_\nu \varphi - \Gamma_{\mu\nu}^\lambda \partial_\lambda \varphi$,
 $\square \varphi = 0^\sigma$.

Ecuatiile lui Einstein modificate se obțin prin înlocuirea lui $T_{\mu\nu}$ în (III, 37) prin

$$T_{\mu\nu} + C_{\mu\nu}. \quad (136)$$

Pentru cazul uniformizat, *smoothed out*, avem, prin ipoteză, $\varphi = \varphi(t)$; o metrică robertsoniană (IV, 41) cu $k = 0$; un tensor $T_{\mu\nu}$ (III, 38) cu $p = 0$ și, în sfârșit, $\Lambda = 0$ în (III, 37 și X, 136). În locul ecuațiilor lui Friedman (V, 57) se obțin atunci relațiile

$$2R\ddot{R} + \dot{R}^2 - \kappa \dot{R} R \dot{\varphi} = 0, \quad (137)$$

$$\frac{3\dot{R}^2}{R^2} = \kappa(\dot{\varphi} + c^2 \rho),$$

la care se adaugă, în virtutea ecuației (135), o a treia relație dinamică :

$$\frac{3\dot{\varphi}\dot{R}}{R} = Kc^2\rho - \ddot{\varphi}. \quad (138)$$

Dacă se impune condiția ca soluția să fie de tip staționar (VI, 64), ecuațiile (137) și (138) determină complet această soluție prin :

$$\rho = \frac{3H^2}{8\pi\gamma}, \quad K = 3c^2, \quad \square \varphi = 3c^2\rho. \quad (139)$$

Examinarea stabilității soluției conduce la urmărirea evoluției temporale a unei mici variații ξ a constantei lui Hubble $H = \frac{\dot{R}}{R}$.

Punînd $\frac{\dot{R}}{R} = H_0(1 + \xi)$, se obține prin derivare și substituire în (137) și (138), o ecuație diferențială de ordinul al doilea în ξ , care, după integrare, dă :

$$\xi = A \exp\left(1 - \frac{9H_0 t}{4}\right) + B, \quad (140)$$

A și B fiind constante.

Primul termen se amortizează. Se ajunge deci la o creștere finită a constantei lui Hubble, fără alterarea formei metricii, deci a staționarității.

b. DIRAC

Unitățile naturale de timp construite pornind de la constantele atomice (h , constanta lui Planck, e , sarcina electronului, m , masa electronului, M , masa protonului) sint

$$\frac{e^2}{mc^3}, \frac{e^2}{Mc^3}, \frac{h}{mc^2}, \frac{h}{Mc^2}, \frac{h}{2\pi mc^2}, \frac{h}{2\pi Mc^2}. \quad (141)$$

Ele se află unele față de altele în rapoartele :

$$1 \quad 0,0005 \quad 850 \quad 0,46 \quad 137 \quad 0,074. \quad (142)$$

Ele nu diferă deci decit prin puteri mici ale lui zece, iar prima diferă puțin de media lor geometrică; dacă o alegem ca unitate, iar ca unitate de lungime luăm $\frac{e^2}{mc^2}$, atunci¹:

$$\frac{1}{H_0} \simeq 5 \cdot 10^{39}, \quad \alpha = 2,3 \cdot 10^{39}, \quad \frac{1}{H_0} \simeq \alpha, \quad (143)$$

(α fiind raportul dintre interacțiunea electrică și interacțiunea gravitațională dintre proton și electron).

Conform *principiului fundamental* al lui Dirac (vezi textul), $\frac{1}{H}$ și α trebuie să fie crescătoare cu timpul cosmic, urmînd aceeași lege.

În virtutea principiului cosmologic, distanța dintre două galaxii vecine poate fi considerată ca fiind funcție numai de timpul cosmic, $L(t)$. Calculul aproximativ al deplasării spre roșu dă atunci

$$H_0 = \frac{\dot{L}_0}{L_0} = 0,2 \cdot 10^{-39}.$$

¹ Pentru H_0 am folosit valoarea dată de Sandage și nu pe cea, de 7 ori mai mare, folosită de Dirac; dată fiind natura raționamentelor lui Dirac, este evident că aceasta nu schimbă cu nimic deducția sa.

Tot din principiul cosmologic reiese că $\rho = \rho(t) = \text{const} \cdot L^{-3}$, dacă masa se conservă. Dar, în unități atomice, $\rho_0 = 7 \cdot 10^{-45}$, de înmulțit cu un factor necunoscut, dar cel mult egal cu o putere mică a lui zece. Prin urmare, $\frac{1}{\rho}$ este un număr mare în sensul „principiului fundamental” și :

$$\rho = a \frac{\dot{L}}{L}, \quad a \simeq 1, \quad (144)$$

de unde, printr-o alegere convenabilă a originii timpului :

$$L = \text{const} \cdot t^{1/3}, \quad \frac{\dot{L}}{L} = \frac{1}{3t}, \quad t_0 = \frac{1}{3H_0} \simeq 10^{39}. \quad (145)$$

Conform principiului fundamental, curbura spațiului trebuie să fie nulă (vezi textul).

Realizarea legăturii cu relativitatea generalizată este posibilă dacă se face o schimbare de unități. Într-adevăr, în virtutea relației (143), „constanta” gravitației variază, în unități atomice, după legea $\kappa = \text{const}/t$, când în relativitate ea este constantă. Aceasta impune, date fiind dimensiunile fizice ale lui κ , schimbarea de scară

$$\delta t' = t \delta t, \quad t' = \frac{1}{2} t^2, \quad L'(t') = \text{const} \cdot t'^{2/3}. \quad (146)$$

(simbolurile cu semnul „prim” desemnind mărimile măsurate în unități relativiste).

Dirac a admis însă principiul cosmologic. El a pus $k = 0$ în virtutea principiului său fundamental. Același principiu conduce în relativitate la condiția $\Lambda = 0$ (căci, dacă $\Lambda \neq 0$, $\frac{1}{\Lambda}$, un număr foarte mare, ar trebui să varieze cu t). În sfârșit, din admiterea principiului cosmologic și a condiției $k = 0$, distanța medie dintre galaxii, L' , este proporțională cu factorul robertsonian de expansiune R . Cu relația (146) se regăsește deci modelul Einstein-de Sitter (VI, 67).

c. JORDAN

Ne vom mărgini la câteva indicații succinte cu privire la consecințele cosmologice ale „relativității proiective”. În această teorie, ecuațiile lui Einstein sînt înlocuite prin altele în care κ , constanta gravitației $\left(= \frac{8\pi\gamma}{c^4} \right)$, ca în (III, 35), figurează ca o funcție scalară de variabilele cîmpului.

Transpunînd în teoria sa ipotezele robertsoniene (cu $k = 1$), și ipoteza fluidului cosmic perfect, Jordan încearcă să structureze spațiu-timp-ul cosmic printr-o metrică de forma (IV, 40), cu $d\sigma^2$ avînd o curbura pozitivă constantă. Ipotezele fizice sînt deci

$$\rho = \rho(t); \quad p = p(t) = \alpha u(t); \quad \kappa = \kappa(t), \quad (147)$$

$$T_{00} = c^2 \rho = u; \quad T_{0i} = 0; \quad T_{ij} = -p_{ij}; \quad T^\lambda_\lambda = u - 3p.$$

Aceste ecuații dau

$$\frac{d}{dt}(\kappa^2 u) + \frac{3\dot{R}}{R} \kappa^2(u + p) = 0. \quad (148)$$

În cazul $\alpha = 0$, $p = 0$, această ecuație este satisfăcută dacă pe de o parte

$$R = ct, \quad H = \frac{\dot{R}}{R} = \frac{1}{t} \quad (149)$$

și, pe de altă parte

$$\kappa^2 \rho = \frac{\text{const}}{t^3}$$

și, în particular, dacă

$$\kappa = \frac{\kappa_0 t_0}{t}; \quad \rho = \frac{\rho_0 t_0}{t}, \quad \text{de unde } \kappa \rho t^2 = \text{const.} \quad (150)$$

Aceste relații exclud conservarea cantității de materie-energie, în sensul obișnuit, pentru că volumul variază ca t^3 , iar densitatea ca $1/t$.

Or, după Jordan, relațiile (149, 150) corespund în mod foarte satisfăcător celor care pot fi obținute din observații, prin aplica-

rea principiului lui Dirac. Căci, dacă A este epoca cosmică actuală, estimată în mod empiric (vezi textul), atunci din observații se obține :

$$H_0 A \simeq 1; \frac{R_0}{cA} \simeq 1; \kappa_0 \rho_0 c^4 A^2 \simeq 1. \quad (151)$$

Conform principiului lui Dirac, aceste relații ar trebui să se conserve în orice moment, ceea ce rezultă din (150) dacă $A = t_0$.

Dacă $M = 2\pi^2 R^3$ este cantitatea totală de masă-energie din univers, avem :

$$\kappa c^2 M \simeq 2\pi^2 R,$$

de unde, înlocuind pe κ prin expresia sa obișnuită :

$$\frac{\gamma M^2}{R} \simeq M c^2. \quad (152)$$

În partea stângă apare potențialul gravitațional total al Universului, iar în partea dreaptă, energia sa de repaus. Energia totală a Universului este deci în orice moment nulă. Prin urmare, se poate spune, într-un anumit sens, că energia se conservă, cu toată generarea *ex nihilo* de „picături” de materie.

XI. Cîteva formule de astronomie și date numerice

(În tot acest capitol, prin simbolul \log vom nota logaritmul zecimal.)

Astronomia caracterizează stelele din punct de vedere fizic prin strălucirea lor aparentă și prin culoarea lor (tipul lor spectral).

Scara de *magnitudini* care permite stabilirea strălucirilor aparente precizează și generalizează, prin extrapolare și interpolare, scara tradițională a *mărimilor* bazată pe deosebirea vizuală a stelelor. În virtutea legii psiho-fiziologice a lui Weber-Fechner, relația dintre *mărimile* percepute și energiile luminoase primite pe retină este logaritmică. Tocmai această relație definește magnitudinile astronomiei moderne.

Dacă L și L' sînt strălucirile aparente a două stele (energiile primite în tot domeniul spectrului vizibil), magnitudinile lor, m și m' , sînt definite prin relația :

$$m' - m = 2,5 \log \left(\frac{L}{L'} \right) \quad (\text{legea lui Pogson}). \quad (153)$$

Se vede că magnitudinea este o funcție *descrescătoare* de luminozitatea aparentă, originea scalei fiind definită în mod convențional prin referire la un anumit ansamblu de stele. Stelele cele mai strălucitoare de pe cer au magnitudini negative.

Unități de lungime.

Unitatea astronomică de distanță, pe care o notăm cu a , este o lungime convențională care diferă foarte puțin de distanță medie de la Pământ la Soare; raportată la unitățile fizice, mărimea sa este

$$a = 149,5 \cdot 10^6 \text{ km}^*. \quad (154)$$

Parsecul (paralaxă-secundă) este distanța pînă la Pământ a unui punct din care unitatea astronomică de distanță se vede sub un unghi de $1''$; avem deci:

$$1 \text{ pc} = \frac{a}{\sin 1''} = 206\,265 \, a. \quad (155)$$

Anul-lumină este, evident, distanța parcursă de lumină într-un an, în vid. Relația dintre parsec și anul-lumină este:

$$1 \text{ pc} = 3,26 \text{ al.} \quad (156)$$

Relația magnitudine-distanță.

Magnitudinea aparentă a unui astru depinde în același timp de luminozitatea sa intrinsecă și de distanța sa. Pentru a face ca luminozitatea intrinsecă să intre comod în calcule, ea este măsurată în mod convențional prin *magnitudinea absolută* a astrului, definită astfel: presupunînd că spațiul este euclidian și perfect transparent, magnitudinea absolută M este magnitudinea pe care ar avea-o astrul dacă ar fi situat la 10 parseci de Pământ. Între magnitudinea aparentă m , magnitudinea absolută M și distanța l a astrului avem relația:

$$\log l = 0,2(m - M) + 1. \quad (157)$$

Mărimea $(m - M)$ se numește „modul de distanță” al stelei.

* Conform noului sistem de constante astronomice adoptat de Uniunea Astronomică Internațională, $a = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km} - \text{N.R.}$

Formula (157) nu este valabilă și pentru nebuloase îndepărtate. În cazul lor ea trebuie înlocuită printr-o expresie în care în primul membru figurează distanța-luminozitate D (IV, 50), iar în al doilea membru, termeni corectivi conținând deplasarea spre roșu z (IV, 47).

Această formulă se scrie :

$$\log D = 0,2 [m - (K_1 + W_1)z - M] + 1, \quad (158)$$

unde M reprezintă magnitudinea absolută a unei galaxii de referință tipice, determinată din observarea unor obiecte cosmice „apropiate”. K_1 și W_1 sînt constante; termenul $K_1 z$ este destinat să înlăture consecințele datorate decalajului întregii curbe de distribuție a energiei în spectru, decalaj care face ca o parte din energia primită să iasă din cîmpul de observație. Termenul în W_1 exprimă, — destul de ipotetic — efectul, practic necunoscut, al unei variații a strălucirii intrinseci a galaxiilor în decursul unor intervale de timp de dimensiuni cosmologice.

Determinarea modelului cosmologic.

Eliminarea lui D între expresiile (IV, 51) și (158) trebuie să permită, într-o primă aproximație, determinarea lui H_0 și, într-o a doua, determinarea lui q_0 . Relația (158) determină deci, prin intermediul relației (IV, 48), funcția $R(t)$ într-o aproximație de ordinul doi, în vecinătatea lui t .

Punînd $\sigma_0 = \frac{8\pi\gamma\rho_0}{H_0^2}$, ecuațiile lui Friedman (V, 57) cu $p = 0$, se scriu, la $t = t_0$:

$$\Lambda = -(3q_0 - \sigma_0)H_0^2, \quad (159)$$

$$\frac{kc^2}{R_0^2} = -(q_0 + 1 - \sigma_0)H_0^2.$$

1. Dacă luăm $\Lambda = 0$, atunci

$$\sigma_0 = 3q_0, \quad \frac{kc^2}{R_0^2} = 2q_0 - 1.$$

Sandage a propus $H_0 = 75$ km/sec/milion de parseci și $q_0 = 0,2$; rezultă că spațiul este hiperbolic (însă cu valoarea lui

Baum, $q_0 = 1$, necorectată de efectul evoluției galaxiilor, spațiul ar fi închis).

Dacă $q_0 = 0,2$,

$$\rho_0 = \frac{3H_0^2 q_0}{8\pi\gamma} \simeq 10^{-29} \text{ g/cm}^3,$$

valoare acceptabilă, aproximativ de o sută de ori mai mare decât valoarea empirică dată de Oort : $\rho \text{ (Oort)} = 3 \cdot 10^{-31} \text{ g/cm}^3$.

2. Dacă nu se face nici o ipoteză cu privire la Λ și se pleacă direct de la valorile H_0 , q_0 ale lui Sandage și de la $\rho \text{ (Oort)}$, atunci

$$\sigma_0 = 0,014, \text{ de unde } 3q_0 - \sigma_0 \geq 0, \Lambda \leq 0,$$

$$q_0 + 1 - \sigma_0 > 0, \quad k = -1.$$

Spațiul este în acest caz hiperbolic și Universul este oscilant. Această dublă concluzie nu este alterată dacă $\rho \text{ (Oort)}$ este înmulțită cu zece; situația se schimbă însă dacă $\rho \text{ (Oort)}$ este de o sută de ori mai mare.

PARADOXUL LUI OLBERS

Se presupune Universul compus din aștri de luminozitate intrinsecă medie constantă, repartizați uniform într-un spațiu euclidian, și un observator situat într-un punct oarecare O . Radiația totală emisă de aștrii situați între două sfere avînd centrul O și razele R și $R + dR$, în unitatea de timp, va fi, alegînd convenabil unitățile, $L = 4\pi R^2 dR$. Dacă se presupune că spațiul este transparent, radiația primită în O , provenind de la acești aștri va fi $\frac{L}{R^2} = 4\pi dR$. Integrînd de la 0 la infinit,

se vede că O ar trebui să primească din întreg Universul, în unitatea de timp, o cantitate infinită de radiație. De fapt această cantitate ar fi limitată de eclipsarea aștrilor unii de către alții, dar, chiar dacă ținem seama de această restricție, concluzia raționamentului este cu totul deosebită de ceea ce se observă efectiv, pentru că luminozitatea cerului nocturn este foarte slabă în raport cu cea a Soarelui, astru unic și foarte apropiat.



Acest paradox a fost imaginat de Olbers în 1826. Raționamentul se baza pe principiul cosmologic, care la acea dată era numai o ipoteză gratuită, dar pe care observația contemporană îl confirmă. Charlier a arătat că paradoxul Olbers ar putea fi eliminat dacă se imaginează o structură ierarhică a Universului. În faptele de observație nu există însă nici o dovadă în acest sens. În schimb, expansiunea izotropă rezolvă în mod natural paradoxul, radiația straturilor celor mai îndepărtate fiind absorbită de deplasarea spre roșu.

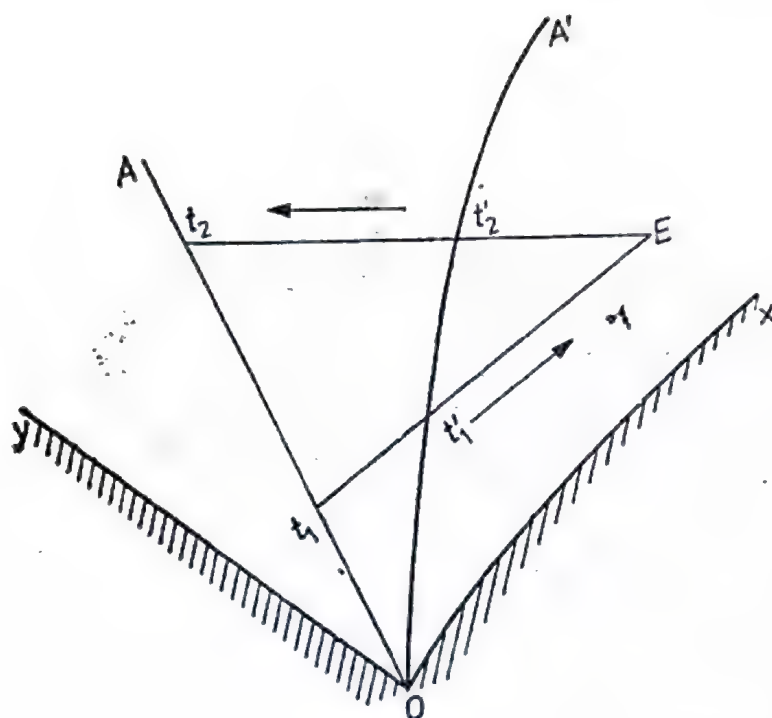


DIAGRAMA LUI ROBERTSON

O este punctul singular al lui Milne, de unde diverg toate traiectoriile (temporale) ale observatorilor fundamentali: OA, OA', \dots . Spațiu-timp-ul este reprezentat prin porțiunea din plan interioară unghiului format de traiectoriile luminoase Ox, Oy .

A determină punctul-eveniment E prin cele două numere t_1 , plecarea semnalului spre E , și t_2 , momentul reîntoarcerii semnalului din E . Pe liniile t_1E (respectiv t_2E), traiectoriile unice ale luminii unind A cu E , toate punctele sînt reperate prin același număr t_1 (respectiv t_2). Pe t_1E avem deci $dt_1 = 0$, iar pe t_2E , $dt_2 = 0$, sau, pe ansamblul celor două traiectorii, $dt_1 dt_2 = 0$. În sistemul de coordonate pe care îl va stabili A pentru reperarea spațiu-timp-ului și care va trebui să se transforme de la orice A la orice A' urmînd o lege de grup, aceasta va face ca pe întregul parcurs al luminii o anumită formă pătratică să rămînă nulă.

Formulele și expresiile cel mai des citate în text:

- Metrica unui spațiu Riemann: Anexa, I, ec. 3.
Spațiu-timp-ul lui Minkowski: Anexa, II, ec, 28, fig. I
Axiomele relativității generalizate: Anexa, III, 1, 2, 3.
Ecuațiile lui Einstein: Anexa, III, (35, 36, 37).
Elementul ds^2 al lui Robertson: Anexa, IV, ec. 41.
Postulatul timpului cosmic: Anexa, IV, C.
Formula teoretică a deplasării spre roșu: Anexa, IV, ec. (45, 46, 47).
Ecuațiile lui Friedman: Anexa, V, ec. 57.
Ecuația de conservare în modelele lui Friedman: Anexa, V, ec. 58.
Universul static al lui Einstein: Anexa, VI, A, 2, ec. 61.
Universul lui de Sitter: Anexa, VI, B, 2, ec. (64, 66).
Universul lui Einstein-de Sitter: Anexa, VI, C, 1, ec. 67, fig. III.
Universul lui Lemaitre-Eddington: Anexa, VI, C, 3, fig. V.
Universul în rotație al lui Gödel: Anexa, VIII, ec. 78.

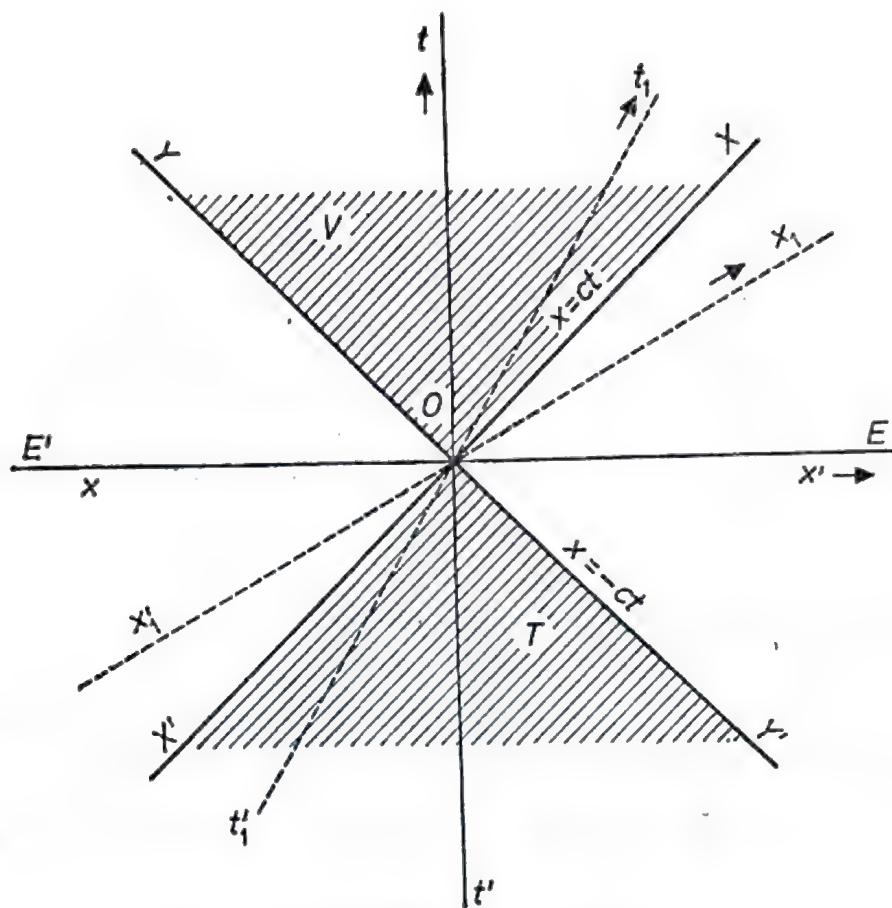


Fig. I. Diagrama lui Minkowski.

O : punct-eveniment-origine, arbitrar

Ox, Ot : axa spațială și axa temporală a unui reper galileian.

Ox_1, Ot_1 : axa spațială și axa temporală a unui alt reper galileian.

$X'OX, Y'OY$: traectoriile unor raze luminoase care trec prin O (s-a luat $c = 1$).

Aceste drepte reprezintă intersecția „conului nul” cu planul (spațio-temporal) al figurii. V este domeniul viitorului, iar T , domeniul trecutului. E, E' sînt domenii inaccesibile cauzal. Aceste drepte și aceste domenii sînt independente de reperul ales.

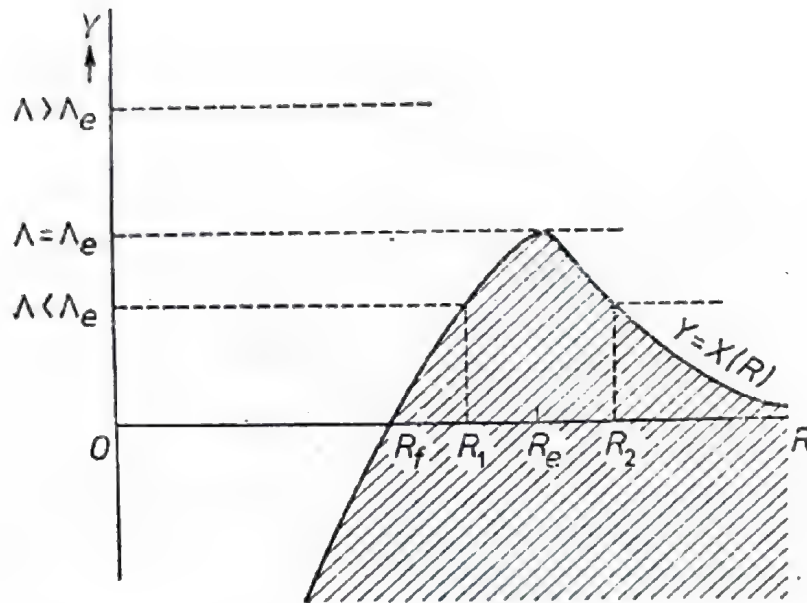


Fig. 11. Diagrama lui Friedman ($k=+1$, $p=0$).

\dot{R}^2 se anulează la intersecția dreptei $Y = \Lambda$ cu curba $Y = X(R)$. S-a hașurat regiunea din plan în care punctul (Λ, R) nu se poate găsi ($\dot{R}^2 < 0$).

— Dacă $\Lambda > \Lambda_e$, \dot{R}^2 nu se anulează pentru nici o valoare a lui R : expansiune monotonă.

— Dacă $\Lambda = \Lambda_e$ $\left\{ \begin{array}{l} R = R_e, \text{ modelul static al lui Einstein.} \\ R \text{ crescînd de la } R_e \text{ (la } t = -\infty) \text{ pînă la infinit,} \\ \text{modelul lui Lemaître-Eddington.} \\ R \text{ crescînd de la } 0 \text{ la } R_e \text{ (la } t = +\infty). \end{array} \right.$

— Dacă $0 < \Lambda < \Lambda_e$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{Oscilație de la } 0 \text{ la } R_1 \\ \text{contracție de la } \infty \text{ la } R_2, \text{ apoi expansiune de la } R_2 \text{ la } \infty. \end{array} \right.$

— Dacă $\Lambda = 0$, oscilație de la 0 la R_f , modelul oscilant al lui Einstein-Friedman.

Diagrama lui Friedman arată că oscilația nu se poate produce între două valori finite ale lui R . Tolman a demonstrat că acest lucru este adevărat și pentru $p \neq 0$.

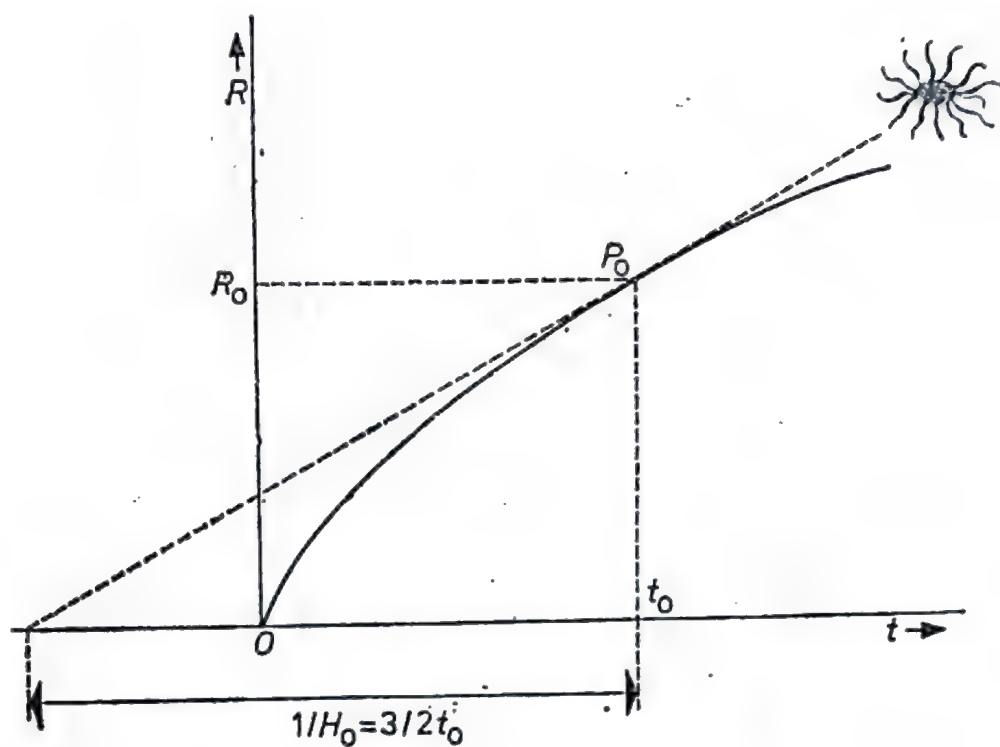


Fig. III. Modelul lui Einstein-de Sitter.

$k = 0$, spațiul este euclidian, R nu este o „rază de curbură”, t_0 este epoca actuală, în sistemul natural al timpului cosmic, dacă $\frac{1}{H_0} \simeq 13,5 \cdot 10^9$ ani, $t_0 \simeq 9$ miliarde de ani.

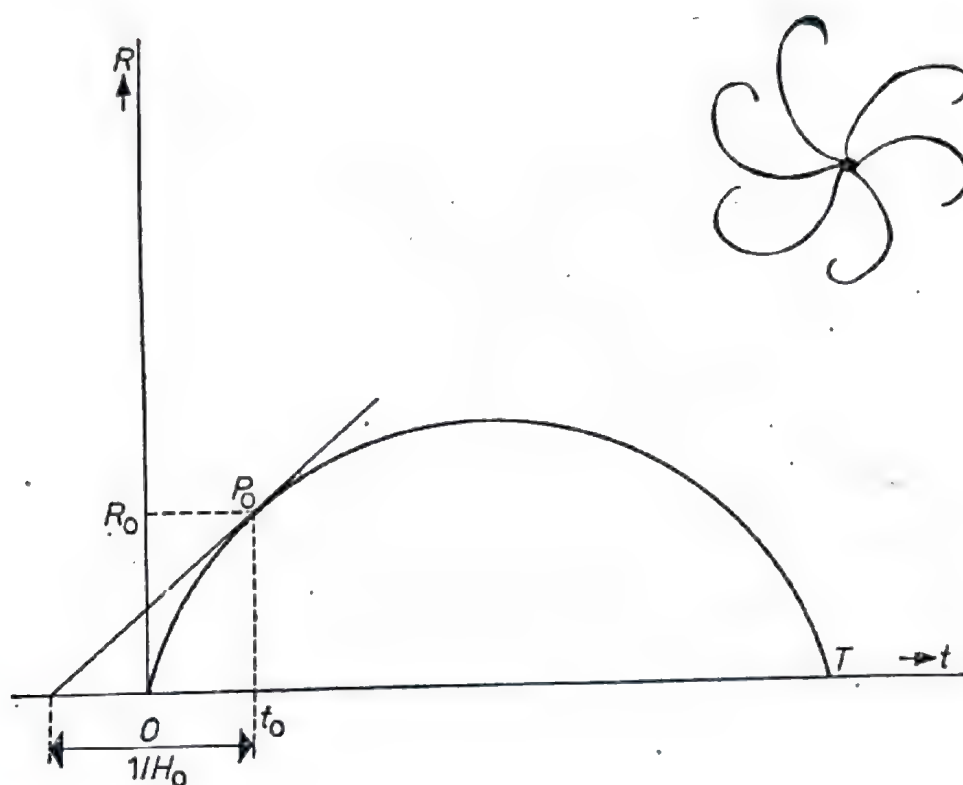


Fig. IV. Modelul oscilant închis al lui Friedman-Einstein.

$k = +1$, R este o rază de curbura.

O este o origine naturală a timpului cosmic. $t_0 < \frac{1}{H_0}$. Raportul dintre t_0 și $\frac{1}{H_0}$ depinde însă de poziția lui P_0 , care este necunoscută.

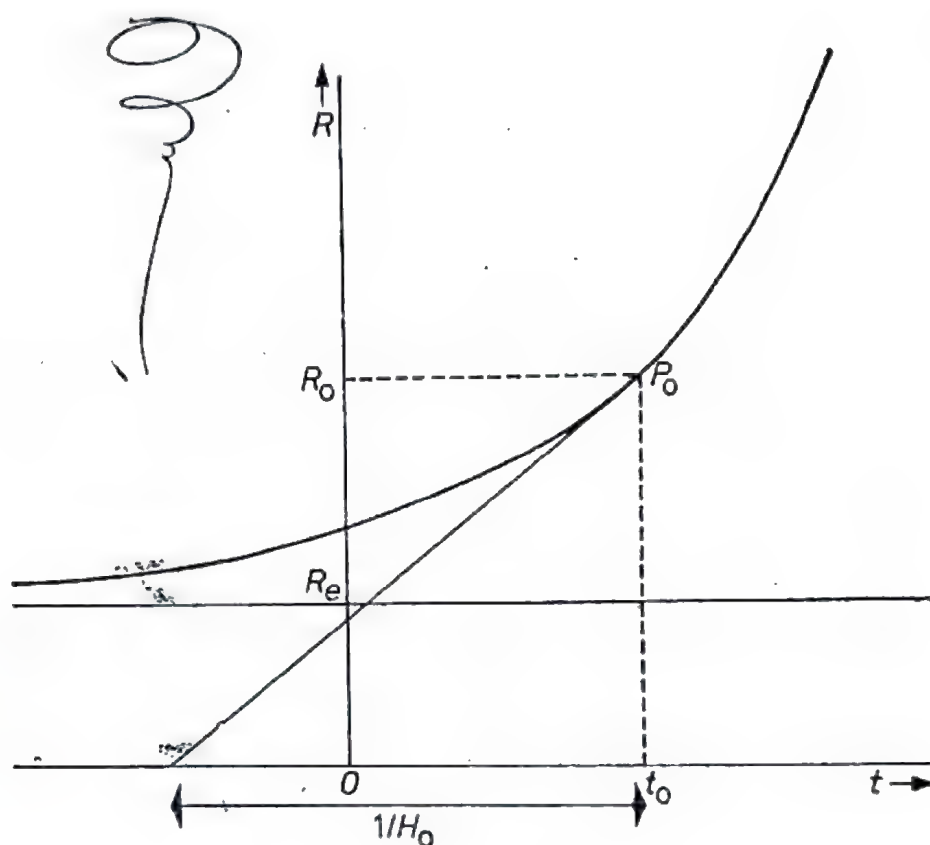


Fig. V. Modelul lui Lemaitre-Eddington.

$k = +1$, R_e este raza de curbură a hipersferei lui Einstein—pe care R o atinge asimptotic cind $t \rightarrow -\infty$.

Originea O a timpului cosmic este arbitrară, iar $\frac{1}{H_0}$ nu indică nici o „vîrstă”.

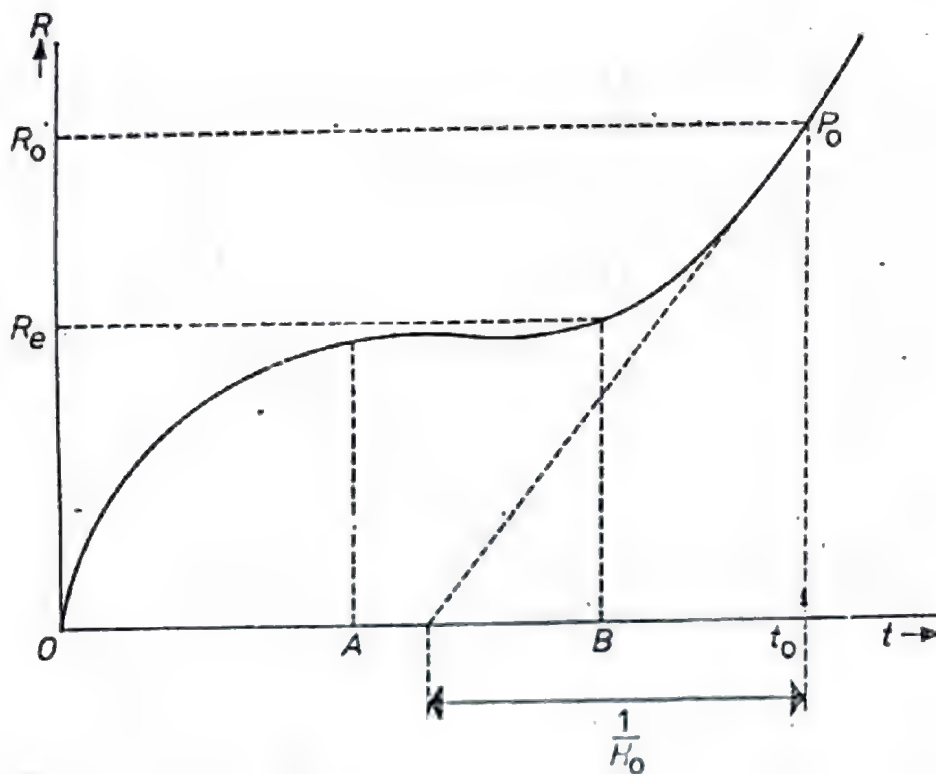


Fig. VI. Modelul lui Lemaitre.

$k = +1$. O este originea naturală a timpului cosmic, dar $t_0 > \frac{1}{H_0}$. Raporturile dintre

OA , AB , t_0 au fost alese arbitrar.

OA este prima fază cosmogonică, corespunzând exploziei „atomului primitiv”.

AB este încetinirea expansiunii la traversarea pseudovalorii de echilibru R_e (raza de curbură a hipersferei lui Einstein), corespunzând formării galaxiilor și a rolurilor de galaxii.

Bt_0 și în continuare — corespunde fazei actuale; sfârșitul marilor procese cosmogonice.

LUCRĂRI CONSULTATE

Multe din memoriile citate fac parte din volume colective care sînt dedicate mai mult sau mai puţin direct, în ansamblul lor, subiectului nostru şi care ne-au fost de folos în diverse ocazii. Aceste volume sînt menţionate prin prescurtări, specificarea lor completă fiind făcută la sfîrşit. Sînt date de asemenea denumirile complete ale periodiceilor care sînt citate de mai multe ori.

- ALPHER, R. A., BETHE, H. A., GAMOW, G., *The Origin of the Chemical Elements*, P. R. (letters), 73, 1948, p. 803.
- ALPHER, R. A., HERMANN, R. C., *Theory of the Origin and Relative Abundance Distribution of the Elements*, R. M. P., 22, 1950, pp. 153—212.
- AMBARȚUMIAN, V. A., *Discurs introductiv la simpozionul Uniunii astronomice internaționale* (Roma, 1952), I.A.U. VIII, 1954, pp. 665—681.
- Idem*, *On the Origin of Stars*, P.N.A., pp. 293—300.
- Idem*, *Stars of T Tauri and U. V. Ceti Type and the Phenomenon of Continuous Emission*, Simpozion. U.A.I. (Dublin, 1955), I.A.U., 1957, pp. 177—185.
- Idem*, *La Méthode en Cosmogonie*, in *Le Cosmos*, Recherches internationales, 14—15, 1959, pp. 22—41.
- Idem*, *On the Evolution of Galaxies*, S.E.U., pp. 241—279.
- BAILEY, V. A., *The Steady State Universe and the Deduction of Continual Creation of Matter*, N., 184, 1959, pp. 537—538.
- BAUM, O., 81, 1961, p. 114.
- BERGSON, H., *Durée et simultanéité*, Paris, Felix Alcan, 1922.
- BOISCHOT, A., *La Radio-Astronomie*, Paris, Masson, 1960.
- BONDI, H., GOLD, T., *The Steady State Theory of the Expanding Universe*, M.N., 108, 1948, pp. 252—270.
- Idem*, *Cosmology*, Cambridge, 1952, ed. a II-a, 1960.
- Idem*, *Physics and Cosmology*, O., 82, 1962, pp. 133—143.
- BRANS, C. DICKE, R. H., *Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation*, P.R., 124, 1961, pp. 925—935.
- BURBIDGE, E. M., G. R., FOWLER, W. A., HOYLE, F., *Synthesis of the Elements in Stars*, R.M.P., 29, 1957, pp. 546—650.

- CHANDRASEKHAR, S., WRIGHT, J. P., *The Geodesics in Gödel's Universe*, N.A.S., 48, 1961, pp. 341—347.
- CHARLIER, C. V. L., *Wie eine unendliche Welt aufgebaut sein kann*, Arkiv för Math. Astr. och Fys. (Suedia), 4, 24, 1908.
- Idem*, *How an infinite World can be built up*, *ibid.*, 16, 22, 1922.
- COSTA DE BEAUREGARD, O., *La Théorie de la Relativité restreinte*, Paris, Masson, 1949.
- Idem*, *Symétrie microscopique et dissymétrie macroscopique entre avenir et passé*, *Revue de synthèse*, 1957.
- Idem*, *De l'irréversibilité du temps physique*, S.N., pp. 199—227.
- Idem*, *Le Second Principe de la science du temps*, Paris, Seuil, 1963.
- COUDERG, P., *Discussion sur l'évolution de l'Univers*, Paris, Gauthier-Villars, 1933.
- Idem*, *L'Expansion de l'Univers*, Paris, P.U.F., 1950.
- Idem*, *L'Univers*, Paris, P.U.F., 1955.
- Idem*, *Des plus grandes distances aux plus grandes durées*, *As.*, 76, 1962, p. 329.
- DAUVILLIER, A., *Cosmologie et Chimie*, Paris, P.U.F., 1955.
- DAVIDSON, W., *The Cosmological Implications of the Recent Counts of Radiosources*, I, M.N., 123, 1962, pp. 425—435; II, *ibid.*, 124, 1962, pp. 79—92.
- DICKE, R. H., *Implications for Cosmology of Stellar and Galactic Evolution Rates*, R.M.P., 34, 1, 1962, pp. 110—122.
- DINGLE, H., *Modern Aristotelianism*, N., 139, 1937, p. 784.
- Idem*, *The Function of Time Measurement in Modern Physics*, Symposium de philosophie des sciences (Bruxelles, 1947), Paris, Hermann.
- DIRAC, P. A. M., *The Cosmological Constants*, N., 139, 1937, p. 223.
- Idem*, *A New Basis for Cosmology*, R.S.L., 165 A, 1938, pp. 199—208.
- EDDINGTON, A. S., *Espace, Temps, Gravitation*, trad. Rossignol, Paris, Hermann, 1921.
- Idem*, *Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge, 1923, ed. a V-a, 1954.
- Idem*, *The Nature of Physical World*, Cambridge, 1929.
- Idem*, *On the Instability of Einstein's Spherical World*, M.N., 90, 1930, pp. 668—678.
- Idem*, *Fundamental Theory*, Cambridge, 1948, ed. a III-a, 1953.
- EINSTEIN, A., *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeine Relativitätstheorie*, in Sitzungsberichte der königlichen preussischen Akademie der Wissenschaften, VI, 1917, pp. 142—152.
- Idem*, *Kritisches zu einer von Herrn de Sitter gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen*, *ibid.*, 1918, pp. 270—272.
- Idem*, *Bemerkung zu der Arbeit von A. Friedman « Ueber die Krümmung des Raumes »*, Z.P., 11, 1922, p. 326.
- Idem*, *Notiz zu der Arbeit von A. Friedman « Ueber die Krümmung des Raumes »*, *ibid.*, 16, 1922, p. 228.
- Idem*, *Zum kosmologischen Problem der allgemeine Relativitätstheorie*, in Sitzungsberichte der preussischen Akademie der Wissenschaften, 1931, pp. 235—237.
- EINSTEIN, A., DE SITTER, W., *On the Relation Between the Expansion and the Mean Density of the Universe*, N.A.S., 18, 1932, pp. 213—214.

- EINSTEIN, A., STRAUSS, A., *The influence of the expansion of space on the gravitational fields surrounding the individual stars*, R.M.P., 17, 1945, pp. 120—4.
- EINSTEIN, A., *Autobiographisches*, E.P.S., pp. 1—95.
- Idem*, *Reply to Criticism*, pp. 663—668.
- EINSTEIN, A., *On the Cosmological Problem*, anexă la a II-a ediție a cărții *The Meaning of Relativity*, Princeton, U.P., 1945, ed. a V-a, 1956.
- EINSTEIN, A., INFELD, L., *L'Évolution des idées en Physique*, trad. Solovine, Paris, Flammarion, 1938.
- FRIEDMAN, A., *Ueber die Krümmung des Raumes*, Z.P., 10, 1922, p. 377.
- Idem*, *Ueber die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes*, Z.P., 21, 1924, p. 326.
- GAMOW, G., TELLER, E., *On the Origin of Great Nebulae*, P.R., 55, 1939, p. 654.
- GAMOW, G., *On Relativistic Cosmology*, R.M.P., 21, 1949, pp. 367—373.
- Idem*, *On the Formation of Protogalaxies in the Turbulent Primordial Gas*, N.A.S., 40, 1949, pp. 480—484.
- Idem*, *La Création de l'Univers*, trad. Guéron, Paris, Dunod, 1956.
- Idem*, vezi ALPHER, R. A.
- GÖDEL, K., *A Remark About the Relationship Between Relativity Theory and Idealistic Philosophy*, E.S.P., pp. 555—562.
- Idem*, *An Example of a New Type of Cosmological Solution of Einstein's Field Equations of Gravitation*, R.M.P., 21, 1949, pp. 447—450.
- Idem*, *Rotating Universes in General Relativity Theory*, Proc. Intern. Cong. Mathematicians, 1950, I, pp. 175—185.
- GOLD, T., *The Arrow of Time*, S.E.U., pp. 81—95.
- Idem*, vezi BONDI, H.
- GREENSTEIN, J. L., *Stellar Evolution and the Origin of Chemical Elements*, American Scientist, 49, 1961, pp. 449—473.
- HAKAYAMA, S., TANAKA, H., *Cosmological Implications of Physical Constants*, Progress of theoretical physics (Japonia), 25, 1961, pp. 858—860.
- HANBURY BROWN, R., *Clustering, Cosmology and Sources Counts*, M.N., 124, 1962, pp. 35—48.
- HARWIT, M., *Can Gravitational Forces Alone Account for Galaxy Formation in a Steady State Universe*, M.N., 122, 1961, pp. 47—50.
- HECKMANN, O., SCHÜCKING, E., *Newtonsche und Einsteinsche Kosmologie*, H.P., pp. 489—519.
- HECKMANN, O., *On the Possible Influence of a General Rotation on the Expansion of the Universe*, Ap. J., 66, 1961, pp. 599—603.
- Idem*, vezi Schücking, E.
- HEISENBERG, W., *Physique et Philosophie*, trad. Jacqueline Hadamard, Paris, Albin Michel, 1961.
- HILL, E. L., *Recenzia cărții Kinematic Relativity a lui E. A. Milne*, Ap. J., 110, 1949, pp. 99—101.

- III, *Ibid.*, pp. 257–271.
- Idem*, *The Theoretical Aspects of the Nebular Red-Shift*, Publ. of the Astr. Soc. of the Pacific, 67, 1955, p. 82.
- ROBINET, A., *La Correspondance Leibnitz-Clarke*, Paris, P.U.F., 1957.
- ROBINSON, B. B., *Relativistic Universes With Shear*, N.A.S., 47, 1961, pp. 1852–7.
- RYLE, M., CLARKE, R. W., *An Examination of the S.S. Model in the Light of Some Recent Observations of Radio-Sources*, M.N., 122, 1962, pp. 349–361.
- SANDAGE, A., *The Ability of the 200-inches Telescope to Discriminate Between Selected World-Models*, Ap. J., 133, 1961, pp. 355–391.
- Idem*, *The Light Travel Time and the Evolutionary Correction of Magnitude of Distant Galaxies*, Ap. J., 134, 1961, pp. 916–926.
- SHANE, C. D., WIRTANEN, C. A., *The Distribution of Extra-Galactic Nebulae*, An. J., 59, 1954, pp. 285–304.
- SCHATZMAN, E., PECKER, J. C., *Astrophysique générale*, Paris, Masson, 1959.
- Idem*, *Origine et évolution des mondes*, Paris, Albin Michel, 1957.
- Idem*, *Problèmes cosmologiques*, S.N., pp. 185–198.
- SCHÜCKING, E., HECKMANN, O., *World-Models*, S.E.U., pp. 149–159.
- SCHWARZSCHILD, M., *Stellar Evolution*, I.A.U., 11B, 1961, pp. 137–143.
- SCIAMA, D. W., *On the Origin of Inertia*, M.N., 113, 1953, pp. 34–42.
- Idem*, *The Unity of the Universe*, London, Faber, 1959.
- Idem*, *Les trois lois de la Cosmologie*, trad. Bouche, I.H.P., 17, 1961, pp. 15–24.
- Idem*, *L'Observation et la Cosmologie*, I.H.P., 17, 1961, pp. 25–36.
- ȘIROKOV, M. F., FISHER, I. Z., *Isotropic Space with Discrete Gravitational Field-Sources*, trad. engleză, Soviet Astronomy (U.S.A.), 6, 1963, pp. 699–705.
- DE SITTER, W., *On the Relativity of Inertia*, K.A.W., 19, 1917, pp. 1217–25.
- Idem*, vezi EINSTEIN, A.
- TELLER, E., *On the Change of Physical Constants*, P.R., 73, 1948, p. 801.
- Idem*, vezi GAMOW, G.
- TOLMAN, R. C., *On de Sitter's Universe*, Ap. J., 69, 1929, pp. 145–174.
- Idem*, *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, Oxford, 1934, ed. a III-a, 1958.
- Idem*, *The Age of the Universe*, R.M.P., 21, 1949, pp. 374–378.
- TONNELAT, M. A., *Les Principes de la théorie électromagnétique et de la Relativité*, Paris, Masson, 1958.
- Idem*, *Les Récentes Expériences sur le décalage vers le rouge, en tant que preuves de la Relativité générale*, I.H.P., 17, 1961, pp. 59–89.
- TONNELAT, M. A., MAVRIDÈS, S., *Relativité générale et théories cosmologiques*, A., pp. 1306–68.
- WALKER, A. G., *On Milne's Theory of World-Structure*, Proc. London Math. Soc., 42, 1936, pp. 90–127.
- Idem*, *Kinematic Relativity: a Discussion*, O., 64, 1941–2, p. 20.
- WEYL, H., *Zur allgemeine Relativitätstheorie*, P.Z., 24, 1923, p. 230.
- Idem*, *Red-Shift and Relativistic Cosmology*, Phil. Mag. 9, 1930, p. 936.

- K.A.W. *Proceedings of the Koninklijke Akademie van Wetenschappen* (Pays-Bas).
I.H.P. *Annales de l'Institut Henri Poincaré*.
M.N. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (Anglia).
N. *Nature* (Anglia).
N.A.S. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (S.U.A.).
O. *The Observatory* (Anglia).
P.R. *Physical Review* (S.U.A.).
P.Z. *Physikalische Zeitschrift* (Germania).
R.M.P. *Reviews of Modern Physics* (S.U.A.).
R.S.L. *Proceedings of the Royal Society of London*.
Z.P. *Zeitschrift für Physik* (Germania).

Autorul își exprimă adîncă sa recunoștință, pentru sugestiile și criticile aduse, față de dra. Mavridès, cercetătoare la Centrul Național de Cercetări Științifice, dl. G. J. Whitrow, profesor de matematică la Universitatea din Londra și dl. Paul Coudere, astronom titular la Observatorul din Paris, care au avut amabilitatea să citească în manuscris respectiv Anexa, capitolele referitoare la cosmologia deductivă și cele care se ocupă de observația astronomică.

De asemenea, ține să mulțumească d-nei Jean Merleau-Ponty, care i-a dat concursul la transcrierea manuscrisului — și fiicei sale Claire, care a desenat toate graficele.

Această cosmologie constituie acea parte din mecanica invariantivă, elaborată de academicianul Octav Onicescu**, care se referă la mișcarea galaxiilor considerate ca unități materiale ale Universului.

Localizarea galaxiilor este realizată în Universul newtonian $E_3 \times E_1$, produs cartezian dintre spațiul euclidian E_3 și timpul E_1 , sistemele de referință fiind sistemele inerțiale newtoniene. Starea dinamică a fiecărei galaxii, considerată ca punct izolat, este definită de perechile (r, t) (poziție, moment) și (p, H) (impuls, energie). Ipoteza care se face constă în considerarea funcției de stare sau energiei H drept un invariant euclidian, adică $H = H\left(\frac{1}{2} p^2\right)$.

Principiul dinamic al mișcării inerțiale afirmă că derivata exterioară, în sens Cartan, a sistemului (p, H) este nulă. Rezultă de aici că $p = mv$, $m = m_0/\sqrt{1 - v^2/c^2}$, $\dot{H} = mc^2$, unde v este viteza, m_0 masa de repaus, iar c viteza luminii în vid.

Starea unui sistem format din două galaxii este dată la orice moment prin pozițiile r_1, r_2 , impulsurile p_1, p_2 și energia H . Se cere ca energia să fie, ca și în cazul punctului izolat, un invariant euclidian al sistemului, adică $H = H(\alpha_1, \alpha_2, \alpha, \beta_1, \beta_2, \beta)$, unde $\alpha_1 = \frac{1}{2} p_1^2$, $\alpha_2 = \frac{1}{2} p_2^2$, $\alpha = p_1 \cdot p_2$; $\beta_1 = r \cdot p_1$, $\beta_2 = r \cdot p_2$, $\beta = \frac{1}{2} r^2$, iar $r = r_2 - r_1$.

* În această notă, alcătuită de dr. Ieronim Mihăilă, conferențiar la Universitatea din București, sînt prezentate aspectele esențiale ale cosmologiei elaborate de acad. Octav Onicescu pe baza mecanicii sale invariantive — N.R.

** Vezi *Mecanica invariantivă și cosmologia*, Ed. Academiei R.S.R., 1974; *Invariantive Mechanics*, Springer Verlag, 1975.

Dacă se aplică același principiu de anulare a derivatei exterioare (în sens Cartan) a sistemului $(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, H)$, obținem expresiile celor două impulsuri

$$\mathbf{p}_1 = m_1 \mathbf{v}_1 + \mu \mathbf{v}_2 + h_1 \mathbf{v} \mathbf{r}, \quad \mathbf{p}_2 = m_2 \mathbf{v}_2 + \mu \mathbf{v}_1 + h_2 \mathbf{v} \mathbf{r},$$

unde μ este masa de interacțiune gravitațională, iar ν masa de interacțiune repulsivă, ecuațiile mișcării fiind

$$\frac{d\mathbf{p}_1}{dt} = \mathbf{L}, \quad \frac{d\mathbf{p}_2}{dt} = -\mathbf{L}, \quad \frac{dH}{dt} = 0,$$

unde

$$\mathbf{L} = H_{\beta 1} \mathbf{p}_1 + H_{\beta 2} \mathbf{p}_2 + H_{\beta} \mathbf{r},$$

$$H = c^2(m_1 + m_2 + 2\mu + 2\nu).$$

Din aceste ecuații se deduce existența simultană a unei interacțiuni gravitaționale de formă $\frac{fm_1^0 m_2^0}{r^2} \sqrt{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}} \left\{ 1 + \frac{\lambda(r)}{c^2} \right\}$ și a unei interacțiuni de repulsie de forma $g_{12} \frac{r}{c^2 \sqrt{1 - u}}$.

Termenul $\lambda(r)/c^2$ a fost introdus și determinat cu ajutorul avansului periheliilor planetelor, avans neexplicat prin mecanica newtoniană (I. Mihăilă, *Le mouvement du périhélie et la Mécanique invariante*, C.R. Acad. Sc. Paris, t. 280, série A, 595—598, 1975).

Din ecuațiile date rezultă că impulsul total este constant,

$$\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = \text{const.}$$

Din această teoremă, dacă se înlocuiesc \mathbf{p}_1 și \mathbf{p}_2 prin expresiile lor de mai sus, se obține prin derivare următoarea egalitate

$$w = v_2 \cos(\mathbf{v}_2, \mathbf{r}) - v_1 \cos(\mathbf{v}_1, \mathbf{r}) = \frac{1}{2} \frac{\dot{N}}{N} \frac{1 + \frac{c^2}{r^3} \frac{\dot{M}}{N}}{1 - \frac{c^2}{2r^3} \frac{\dot{M}}{N}} r,$$

unde M și N nu depind de r , ci numai de celelalte elemente ale corpurilor în mișcare. Calculele arată că M/N și \dot{M}/\dot{N} sînt limitate,

în special dacă accelerațiile care intră în \dot{M} și \dot{N} nu sînt excesive. În acest caz este evident că pentru c^2/r^3 suficient de mic putem scrie

$$w \sim \frac{1}{2} \frac{\dot{N}}{N} r,$$

relație ce corespunde legii lui Hubble. De aici rezultă că legea cinematică empirică a lui Hubble corespunde unei teoreme a mecanicii invariantive. Rămîne însă să se studieze mai îndeaproape legătura dintre constanta lui Hubble și coeficientul lui r din relația obținută.

Autorul arată în continuare că legea de mai sus are loc și pentru orice sistem izolat de galaxii, și anume considerînd două galaxii pentru care c^2/r^3 este o cantitate neglijabilă. În formula respectivă intră toate elementele sistemului, distanța r dintre cele două galaxii apărînd sub formă de factor. M și N păstrează o valoare sensibil neschimbată cînd se trece de la o pereche de galaxii la alta. Raportul \dot{N}/N este deci o constantă, fapt care corespunde și cu determinările observaționale. Nu se exclude o eventuală variație foarte lentă a raportului \dot{N}/N în condiții care ar putea fi cunoscute pe cale observațională.

În concluzie, cosmologia invariantivă conduce la următoarele două rezultate importante :

1. Existența în același timp cu interacțiunea gravitațională a unei interacțiuni de repulsie de tipul unei forțe elastice.
2. Evidențierea caracterului dinamic al legii lui Hubble, care apare ca o teoremă a mecanicii invariantive.

IERONIM MIHĂILĂ

Postfață

Cartea lui J. Merleau-Ponty, *Cosmologia secolului XX*, reprezintă o vastă monografie asupra statutului epistemologic al unei discipline unice prin caracterul ei, cosmologia contemporană. Intenția fundamentală a autorului este aceea de a stabili, pe baza unui studiu logic, matematic și istoric al tuturor teoriilor apărute pînă la mijlocul secolului nostru, profilul epistemologic și metodologic al acestei științe, sub forma pe care a luat-o ea după teoria einsteiniană a relativității generalizate.

Cosmologia s-a aflat în aproape toate momentele de adînci transformări metodologice ale științei în centrul controverselor provocate de acestea. Nu puține sînt istoriile conceptuale ale științei, ale evoluției modelelor fundamentale ale cunoașterii științifice care urmăresc în esență modificările suferite de-a lungul timpului de principiul antic al „astronomiei formale”: ΣΩZEIN ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ („a salva fenomenele”). Geneza ideii grecești de Cosmos, care a reprezentat momentul principal al trecerii de la mentalitatea arhaică la cea clasică, teoriile despre Univers ale grecilor (Anaximandru, Eudox, Aristotel, Ptolemeu), sistemul lui Copernic, distrucția progresivă a ideii de cosmos și înlocuirea ei cu ideea unui Univers deschis și infinit în cadrul revoluției moderne din științele naturii, constituirea unei cosmologii pe baza fizicii newtoniene, reconstrucția actuală a ideii de univers plecînd de la teoria relativității a lui Einstein, toate aceste momente ale evoluției gîndirii cosmologice au influențat profund mentalitatea științifică generală, modul în care au fost înțelese obiectivele și statutul disciplinelor științifice. Și astăzi, marile confruntări din filozofia științei se inspiră profund din gîndirea cosmologică și-i determină la rîndul lor fizionomia. Încercînd să ofere un nou ideal al științei, pe baza analizei devenirii și istoriei ei reale, ideal eliberat de restricțiile pozitivismului logic, filozofii științei orientați istoric, reprezentanții „Noii filozofii a științei” (N. R. Hanson,

Th. S. Kuhn, P. K. Feyerabend, St. Toulmin) apelează în special la studii de caz din istoria — veche — a cosmologiei. În acest fel se și explică numărul mare de monografii dedicate în ultima vreme lui Copernic și Galilei.

Devenit teren preferențiat al înfruntării teoriilor filozofice moderne asupra cunoașterii, sursă de cazuri istorice pentru reconstrucția critică a științei, cosmologia nu a constituit însă, ca ramură specială a cunoașterii actuale, obiectul unei analize epistemologice constructive. Lucrarea lui J. Merleau-Ponty răspunde tocmai acestei necesități. O asemenea cercetare asupra statutului și a istoriei recente a cosmologiei poate avea valoare nu numai pentru ridicarea unei ramuri a științei la nivelul conștiinței ei critice, dar și pentru constituirea unei epistemologii sintetice, a unei viziuni sistematice asupra cunoașterii științifice în general, capabile să integreze metodologic pluralitatea de experiențe și perspective din știința contemporană. Ea servește astfel atât ca o sinteză conceptual-metodologică a principalelor rezultate dintr-o disciplină particulară, cosmologia, cât și ca un „studiu de caz”, un punct de plecare indispensabil pentru teoria generală a cunoașterii științifice.

Cosmologia contemporană furnizează astfel un cadru excelent pentru studiile epistemologice. Prin natura specială a obiectului său și prin marea varietate de abordări metodologice, cosmologia a devenit un „teren experimental” al tuturor epistemologiilor moderne. Trăsătura sa metodologică dominantă, și anume subdeterminarea empirică a teoriilor, antrenează, în procesul întemeierii ipotezelor, mai mult decât în oricare alt domeniu al cunoașterii, intervenția explicită a ideilor epistemologice, a criteriilor analitice, neempirice (logice, metodologice și filozofice) de justificare, selecție și acceptare a teoriilor. Tocmai de aceea întâlnim în cosmologia contemporană prelungiri ale tuturor marilor varietăți ale epistemologiei. S-au constituit aici atât perspective empiriste și inductiviste, cât și puncte de vedere deductiviste și constructiviste, atât abordări realiste, cât și instrumentaliste. Cu atât mai mult este necesar un studiu de sinteză asupra acestui domeniu.

J. Merleau-Ponty întreprinde o sistematizare — după criterii epistemologice — a tuturor studiilor fundamentale de cosmologie apărute în ultimele decenii, o tipologizare metodologică a teoriilor și ipotezelor cosmologice aptă să orienteze analiza critică a perspectivelor constituite pînă acum în rezolvarea problemei cosmologice. Lucrarea sa se distinge prin consecvența și rigoarea cu care își urmărește țelul propus: determinarea profilului metodologic al cosmologiei actuale. Această intenție majoră se realizează prin

analiza logico-conceptuală și istorică a principalelor ipoteze, concepte și principii ale cosmologiei contemporane. Argumentele și analizele de ordin matematic, fizic, sau filozofic converg în această direcție, servesc acestui program epistemologic și nu se detașează ca cercetări autonome.

Stabilirea statutului epistemologic a unei întregi discipline științifice, o disciplină extrem de complexă, aflată la limita sau la punctul de intersecție al fizicii cu matematica și filozofia naturii, care presupune unificarea rezultatelor tuturor teoriilor fundamentale ale fizicii, constituie, evident, o sarcină extrem de dificilă. Poziția de excepție a cosmologiei în rîndul științelor determină un statut cu totul deosebit al teoriilor, ipotezelor și legilor pe care ea le formulează, al raportului dintre construcția teoretică și întemeierea experimentală, a naturii și valorii metodelor ei. Stabilirea specificului acestei discipline presupune astfel stabilirea specificului obiectului ei, al modului de constituire a ipotezelor și al condițiilor confruntării lor cu datele observației. În mare măsură acesta este planul urmărit de autor în cartea sa. Prima parte a lucrării este consacrată genezei bazei observaționale a noii cosmologii, analizei evoluției astronomiei moderne între 1920 și 1930 care a pregătit în linii mari „decorul gîndirii cosmologice” pentru următoarele decenii. În esență, în această secțiune se determină specificul obiectului noii cosmologii, constituirea noii idei de univers în astrofizica contemporană. Partea centrală a lucrării cercetează critic marile direcții în care s-au constituit modelele de univers actuale (cosmologia relativistă, cosmologia deductivă, încercările de sinteză și unele modele „exotice”), cu intenția dezvăluirii surselor și a statutului ipotezelor formulate. Cum problema cosmologică — problema structurii spațio-temporale a Universului fizic — nu se poate decide în epoca contemporană fără a se lua în discuție aspectul genetic, devenirea acestei structuri, analiza lui J. Merleau-Ponty se angajează în mod natural în studiul temelor dominante și al teoriilor cosmogoniei actuale. În secțiunea finală a lucrării se analizează problema metodologică a confruntării ipotezelor cosmologice cu observația, problemă fundamentală pentru înțelegerea specificului teoriilor și ipotezelor cosmologiei. Pe această bază se pot degaja unele concluzii mai generale privind locul cosmologiei în gîndirea științifică a secolului nostru, implicațiile ei gnoseologice (contribuția ei la determinarea mai complexă a metodei științei) și ontologice (reconstrucția ideilor de spațiu, timp, materie, infinit etc.).

Constituirea cosmologiei actuale a fost pregătită în primul rînd de noile descoperiri astronomice, de extinderea cîmpului

obiectelor și faptelor observate și, în același timp, de marile transformări produse în domeniul fizicii și al matematicii, transformări care au permis — împreună — reconstrucția ideii de obiect al acestei discipline, Universul fizic în totalitatea sa. Teoria relativității restrânse, abandonând ideile newtoniene asupra caracterului absolut al spațiului și timpului, începe, virtual, revoluția cosmologică. Dar spațiu-timp-ul lui Minkowski rămâne încă o formă geometrică independentă de conținutul material al Universului. Pasul hotărîtor în constituirea noii cosmologii îl reprezintă teoria relativității generalizate. Prin ea se unifică profund descrierea matematică cu cea cauzală a lumii, cadrul spațio-temporal cu conținutul material al Universului, deschizîndu-se calea considerării Universului fizic nu ca un obiect indeterminat, situat într-un cadru definit apriori, ci ca o structură spațio-temporală avînd proprietăți ce nu se pot cunoaște decît prin cunoașterea conținutului ei material, distribuția materiei pe care o structurează. Teoria relativității generalizate oferă bazele unificării într-un tot fizico-geometric a Universului, a înțelegerii lui ca o structură perfect definită, care permite asocierea într-o aceeași descriere a conținutului și forme (cadrului) prin relații necesare. Toate aceste progrese ale teoriei fizice se întemeiază pe noile dezvoltări ale conceptelor matematice ale spațiului și infinitului, în special pe generalizările și distincțiile introduse de B. Riemann între infinitate ca proprietate metrică a spațiului, ținînd de relațiile lui interne, și nemărginire, ca proprietate exterioară a lui.

Einstein a construit în 1917 primul model de univers plecînd de la teoria generală a relativității. El constituie prima reprezentare coerentă asupra Universului care nu mai vine în contradicție formală cu principiile și legile bine întemeiate ale fizicii. Conform punctului lui de plecare, teoria generală a relativității, modelul lui Einstein conectează în mod analitic starea materiei și structura metrică a spațiului. Modelul lui Einstein a deschis un nou cîmp de construcție matematicii și fizicii, reînviind de asemenea cele mai vechi dezbateri filozofice asupra naturii. Deși nu a rezolvat în mod corespunzător problema cosmologică, teoria sa a determinat o mișcare generală în gîndirea fizică, reînvierea reflecției cosmologice în cadrul științelor și filozofiei naturii. În același timp, Einstein a formulat și primul tip de construcție a teoriilor cosmologice, urmat de Friedman, de Sitter, Weyl, Lemaitre, Robertson ș.a., tip caracterizat prin demersul „inductiv”: cosmologia era derivată din relativitatea generală printr-o extrapolare a principiilor valabile pentru fenomene locale la Universul în întregul său. Această extrapolare trebuie să permită reproducerea satisfăcă-

toare a trăsăturilor principale ale regiunii observate. Cosmologia relativistă a rămas însă într-o stare de nedeterminare ; ea lăsa fără răspuns întrebări care vizau atât forma geometrică a Cosmosului cât și comportamentul său temporal. Această situație își avea originea nu numai în insuficiența datelor de observație de care se dispunea pentru izolarea și adoptarea unui unic model, ci și în dezacordul dintre cosmologi privind cea mai bună alegere a ipotezelor de bază care întemeiau extrapolarea cosmologică.

Această stare a cosmologiei relativiste a generat — în jurul anului 1930 — o direcție nouă de cercetare care pare a se abate complet de la metoda științei tradiționale a naturii. Ea își află totuși o anumită justificare în specificul epistemologic al cosmologiei. Spre deosebire de alte tipuri de teorii și modele fizice care au ca obiect numai o parte a Universului fizic, o teorie cosmologică sau un model de univers trebuie nu doar să reproducă în mod satisfăcător trăsăturile relevante ale observației astronomice, ci și să ofere un cadru adecvat legilor generale și fenomenelor fizicii. Cosmologia poate fi astfel considerată atât o consecință a fizicii, cât și un punct de plecare al ei. Tocmai insistând asupra celei de a doua particularități s-au formulat o serie de noi modele cosmologice, „neortodoxe” ; și în cadrul lor compararea și acordul cu proprietățile observate ale stelelor și nebuloaselor sînt necesare, dar primul lor obiectiv îl constituie satisfacerea unor exigențe teoretice fundamentale. Modelele lui : Milne, Eddington, Bondi, Whitrow, Walker, Gold ș.a. sînt construite deductiv, apriori, nu prin extrapolarea principiilor teoriei generale a relativității, valabile pentru fenomene locale, ci, printr-o răsturnare a ordinii operațiilor și a valorilor epistemologice (p. 106), punctul lor de plecare îl constituie nu ecuațiile einsteiniene ale cîmpului, ci postulatele suplimentare pe care relativitatea generală le introducea pentru ca problema cosmologică să fie determinată ; structura metrică a Universului trebuie să se deducă de aici.

Cosmologia deductivă (avînd ca modele principale „relativitatea cinematică” și „teoria stării staționare”), construită paralel cu marile succese ale metodei axiomatice în matematică și mecanica cuantică, pornește de la principii epistemologice antiempiriste, considerîndu-se o știință primară, căreia întreaga fizică trebuie să-i împrumute principiile sale, și nu o extrapolare, o extensie ulterioară a fizicii. După cum subliniază J. Merleau-Ponty, la originea teoriei cosmologice se pune un gen de „deducție transcendențială” a metricii universale. Ea trebuie să decurgă din însăși modul în care este definită ideea de Univers în funcție de exigențele raționale și metrice ale cunoașterii fizice.

Confruntarea celor două orientări ale cosmologiei contemporane a adus pe prim plan problema specificului legilor, teoriilor și principiilor acestei discipline, precum și a raportului dintre teorie și experiment. În special cosmologia deductivă introduce nu numai o ruptură cu fizica clasică (de unde necesitatea, căreia i-a dat curs Milne de a reclabora vechile teorii fizice), ci și o modificare a statutului epistemologic al structurilor teoretice ale cosmologiei. Teoria cosmologică nu mai constituie o extrapolare a unei teorii locale construită prin generalizarea inductivă a fenomenelor cunoscute prin observație și experiment; ea se construiește apriori, pe baza unor axiome epistemologice și metodologice.

Tocmai axiomele epistemologice adoptate (exprimând „condițiile generale de regularitate și covarianță cerute apriori, după cosmologia deductivă, de un model de univers”) permit formalismului matematic să intre în joc „pp. (114—115). După cum subliniază J. Merleau-Ponty, „epistemologia noilor cosmologi este deci «transcendentală», în sensul că pentru ei este vorba de determinarea conceptului de univers în funcție de exigențele raționale și metrice ale cunoașterii fizice și de a verifica pînă în ce punct observația autorizează rezultatele care pot fi obținute aprioric din acest concept” (p. 115). Teoria, sau modelul cosmologic, nu au de aceea natura unei teorii fizice obișnuite. Teoria cosmologică refuză distincțiile tradiționale dintre formă și conținut, dintre Universul real și legile abstracte care-i ordonează fenomenele. Cosmologia deductivă ține neapărat să identifice, la scara cosmică, *legile* și *propozițiile descriptive*: la nivelul Cosmosului unicitatea obiectului științei nu permite eliminarea, prin procedeele comparației, a accidentalului în raport cu generalul și esențialul; legile își pierd astfel caracterul lor general, iar propozițiile descriptive caracterul lor contingent. Tocmai această situație, în care nu se mai poate separa necesarul de întîmplător, posibilul de real, modifică necesar statutul „legii cosmologice” (p. 116). O elaborare deductivă a teoriei cosmologice trebuie totuși să comporte (pentru a se distinge de o teorie pur formală) un moment de legătură cu realitatea fizică. Această legătură se poate realiza fie, în spiritul lui Kant, prin apel la experiența despre timp a *ego*-ului, pe care se constituie sistemul conceptual și metric care va permite orice experiență, fie la o experiență directă, comună, care are însă o semnificație cosmică imediată și este deci interpretabilă cosmologic (după Bondi, orice observație asupra lumii, orice experiență de laborator poate dezvălui elemente esențiale cu privire la structura Cosmosului).

În oricare din formele în care s-ar constitui, cu toată poziția ei excepțională, cosmologia, ca știință a Universului fizic, nu poate evita confruntarea modelelor sale cu datele experienței. Totuși, această confruntare are un caracter cu totul deosebit: cosmologia, deși are un domeniu propriu de explorare empirică, nu are posibilitatea unei experiențe directe, hotărâtoare pentru precizarea și alegerea unui model teoretic care să convină cel mai bine reprezentării Universului.

Un punct la fel de controversat în judecarea statutului epistemologic al cosmologiei îl constituie locul ei în gândirea științifică actuală, raporturile ei cu științele fizice, matematica și filozofia. Dacă programul cosmologiei este acela al unei științe a substratului cosmic (Milne), a cărui cunoaștere trebuie să specifice dintre toate structurile matematice posibile pe acelea care sînt cel mai potrivit adaptate definiției mediului general și formelor fundamentale de existență a obiectelor fizice, atunci locul cosmologiei s-ar afla la începutul fizicii, în acel punct în care se stabilește însăși joncțiunea dintre cunoașterea matematică și cunoașterea fizică. Intenția cosmologiei deductive este, cum se exprimă J. Merleau-Ponty, aceea de a „situa enunțurile fundamentale într-o regiune logică plasată oarecum în afara aserțiunilor care se pot exprima și dezvolta cu ajutorul formalismului matematic” (p. 114). Dacă se adoptă programul inductiv al construcției cosmologiei, în care modelele de univers se instituie prin generalizare inductivă a teoriilor locale, atunci cosmologia se atașează ulterior fizicii ca o ultimă extrapolare a principiilor ei. Această poziție nu se poate împăca însă cu pretenția adîncă a gândirii cosmologice la o determinare prealabilă a structurii metrice. Orice cale am alege, subliniază J. Merleau-Ponty, cosmologia, știință a unui obiect unic, „se plasează dintr-o dată în afara normelor curente ale gândirii științifice” (p. 413). Cosmologia, și acesta pare a fi meritul sistemelor ei „neortodoxe” (deductive), își dezvăluie permanent deschiderea ei spre filozofie. Orice discurs cosmologic este dens de implicații filozofice. Prin aceasta se dezvăluie o mișcare generală a științelor naturii care face imposibilă orice delimitare pozitivistă apriori a unor norme fixe ale unei gândiri științifice închise în sine. Interesul deosebit al cosmologiei din punctul de vedere al epistemologiei — concludă J. Merleau-Ponty — este acela că „renașterea sa recentă și strălucitoare a scos în mod deosebit în evidență deschiderea esențială a gândirii științifice” (p. 416). Deschiderea și revizuirea gândirii fizice se manifestă astfel la însuși nivelul categoriilor ei, al osaturii ei conceptuale. Această situație reclamă participarea în constituirea ideii de univers, și în selectarea reprezentărilor

lui teoretice, pe lângă aceea a tuturor domeniilor fizicii (eventual, și a altor științe ale naturii) și a opțiunilor filozofice. Aceasta pare a fi lecția epistemologică cea mai înaltă pe care ne-a oferit-o, după J. Merleau-Ponty, evoluția contemporană a cosmologiei. De această experiență epistemologică, care a fost uneori comparată pentru profunzimea și întinderea consecințelor ei doar cu cea prilejuită de mecanica cuantică, trebuie să țină seama orice încercare de definire a metodei cunoașterii științifice în epoca actuală.

Deși autorul manifestă o deosebită prudență în afirmarea unei interpretări generale, care ar fi în stare să unifice deosebit de numeroasele abordări, adesea complementare, analiza sa epistemologică este influențată evident de raționalismul constructivist al lui Gaston Bachelard. O asemenea perspectivă, care, în polemică cu empirismul și inductivismul, devalorizează experiența în raport cu teoria, cu construcția matematică, își află o anumită justificare atât în specificul teoriilor cosmologice, cât și în succesul formalismului și al metodei axiomatice în logică, matematică și fizica teoretică. Toate acestea dovedeau faptul că „gîndirea formală poate fi creatoare, că deducția nu este condamnată la sterilitate, că numai o epistemologie foarte îngustă poate reduce conceptul matematic la un simplu reziduu schematic al abstracției și al generalizării” (p. 110).

Pe planul concepției ontologice, cel puțin așa cum reiese din ultima secțiune a lucrării, gînditorii care l-au influențat cel mai mult pe J. Merleau-Ponty sînt A. N. Whitehead și G. J. Whitrow, autori ai unor filozofii în care ideile de proces și temporalitate sînt considerate notele cele mai profunde ale conceptului general al existenței, reprezentările raționale ale atributelor cele mai esențiale ale realității. Ontologia „procesului” a lui Whitehead îi sugerează lui J. Merleau-Ponty o posibilă soluție teoretică la problema acelor stări ipotetice finală și inițială ale Universului fizic: „Ar trebui să se poată separa complet, conceptul de devenire de cel de tranziție, lucru nu prea ușor pentru gîndirea fizică, chiar pentru cea rațională, și să se înțeleagă că natura poate fi o trecere fără punct de plecare și punct de sosire, un fel de devenire absolută” (p. 311). Aceste două mari influențe (epistemologică și ontologică) se pot regăsi ca motive ale unei anumite atitudini a autorului față de natura reprezentărilor matematice din fizica teoretică, față de rolul conceptului de spațiu-timp al lui Minkowski. Critica interpretării realiste și absolutiste pe care i-au acordat-o „relativiștii din prima generație” (Minkowski, Weyl) îl conduce pe J. Merleau-Ponty spre o poziție cu unele elemente instrumentaliste, în care spațiu-timp-ul are doar o semnificație metodologică,

el este doar o „reprezentare matematică utilă” (ds^2 reprezintă o „expresie formală a unei condiții de coerență și de comunicabilitate pentru operațiunile de reperare a unui eveniment punctual și instantaneu, situat la distanță față de un observator oarecare” (p.429). O asemenea atitudine se poate observa și în comentariile cu care J. Merleau-Ponty însoțește propunerea lui Bondi, Hoyle și Jordan — cronată din punct de vedere teoretic — de a se revizui statutul principiului conservării energiei și al legilor de conservare în general; interpretarea lor „neortodoxă” (reducerea principiilor de conservare la o lege fenomenologică cu valoare de generalizare empirică) este apreciată de J. Merleau-Ponty ca o „demistificare” a acestui principiu, o salvare a lui de deformările „materialismului ateu” sau ale teologiei creștine, un pas important în vederea specificării lui în contextul științei moderne, în vederea punerii lui la încercare, „prin analiză teoretică sau prin verificare experimentală” (p.431).

Accentele epistemologice antirealiste se împletesc uneori cu un antirealism ontologic, vizibil mai ales în modul în care autorul apreciază contribuția cosmologiei la elucidarea ideii de materie. Subliniind valoarea modelelor ei pentru eliberarea conceptului materiei de perspectiva „substanțialismului masei inerte” (p. 430). J. Merleau-Ponty crede că noua cosmologie dovedește pierderea „atributelor de permanență” ale materiei, acesteia rămânându-i doar „fuga, dispersarea, uneori chiar condensarea, dar numai abandonând întotdeauna câte ceva dispersării universale; îi rămâne poate, de asemenea, atributul de a se naște, dar nu și cel de a dăinui” (p. 430).

Subliniind contribuția cosmologiei actuale la transformarea și îmbogățirea sensului unor categorii centrale ale gândirii științifice și filozofice, J. Merleau-Ponty apreciază ca direcție generală de evoluție a spiritului științific încercarea lui de a priva aceste categorii de orice „semnificație ontologică”, pentru a nu le lăsa decât „un conținut experimental sau «fenomenologic» într-o formă matematică” (p. 419). Asemenea formulări, care țin evident de un formalism epistemologic, sint însă de cele mai multe ori corectate sau amendate chiar de autor, prin dovezi care subminează acest mod pozitivist de a concepe „osatura conceptuală” a științei.

Insistența în sublinierea caracterului inadecvat al intuițiilor substanțialiste la nivelul cosmologiei și al fizicii cuantice îl conduce pe autor uneori la formulări inadecvate de genul : „dematerializarea materiei”, „declinul materiei”, „transformarea materiei în

radiație" ș.a.; aceste expresii nu trebuie înțelese în primul rând ca niște concesii făcute idealismului ci ca un rezultat al unei întrebuintări incorecte a conceptelor filozofice luate în toată generalitatea lor (multe neînțelegeri provoacă și înțelegerea „dialecticii” numai în sensul kantian al „gîndirii antinomice”). Toată această interpretare limitativă afectează doar vechiul concept al materiei, definit în cadrul materialismului metafizic al secolului al XVIII-lea în mod ontologic, substanțialist ca „substrat al tuturor transformărilor vizibile”; ea nu vizează însă nicidecum conceptul materialist-dialectic al materiei, definit într-o perspectivă gnoseologică prin „calități secundare”, care indică modul de raportare a existenței obiective la conștiință (obiectivitatea, cognoscibilitatea, netranscendența), și nu printr-o listă de „note caracteristice”, de „calități primare” aparținînd unei substanțe în sine, independent de relația ei cu conștiința. Trebuie să subliniem de asemenea faptul că numeroasele comentarii ale autorului la ideea „creării materiei” — prezentă în special în modelul stării staționare — au în vedere același concept substanțialist al materiei. Numai astfel se poate vorbi de „crearea materiei” în contextul unor ipoteze care vizează de fapt generarea unor forme de substanță sau cîmp din alte forme, deocamdată nedescrise de legile fizicii, ale materiei.

Deși există asemenea elemente ale unei concepții instrumentalistice, ce apar în prim plan mai ales în interpretarea temelor cosmologiei aprioriste, J. Merleau-Ponty nu le supralicitează în defavoarea unei perspective realiste asupra științei, perspectivă implicată de cosmologia relativistă, cea mai acceptată variantă a cosmologiei contemporane. Mai degrabă, am putea considera lucrarea lui J. Merleau-Ponty ca un efort de a reda specificitatea fiecărei orientări, de a reține fără a simplifica pluralitatea de experiențe din această ramură a științei contemporane, în vederea alcătuirii profilului ei epistemologic complex și ireductibil.

Preocupat în primul rând tocmai de dezvăluirea premiselor și implicațiilor epistemologice ale modelelor cosmologice, J. Merleau-Ponty lasă uneori insuficient reliefate unele poziții și conexiuni filozofice mai generale ale teoriilor analizate. Deși subliniază asocierea cu noua cosmologie a unor teme și valori idealiste sau chiar teologice, autorul le tratează exclusiv ca „motive de ordin epistemologic”, încercînd să le evidențieze ineficiența pe plan științific. Astfel, teologia, care a determinat fundamental „stilul” cosmologiei lui Milne, este considerată numai sub aspectul valorii ei ca „sursă a cunoașterii fizice” (pe baza unei analize foarte

detaliat J. Merleau-Ponty afirmă incapacitatea ei de a se constitui într-un izvor autentic al teoriilor fizice) nu și ca o interpretare a rezultatelor cunoașterii cosmologice avînd o finalitate ideologică manifestă.

În lucrarea lui J. Merleau-Ponty se întîlnesc și o serie de teze sau interpretări epistemologice eronate, cum ar fi cea în care se determină semnificația „probabilității” prin „măsura ignoranței” (p. 289), sau cea care reduce considerabil rolul teoretic al ideii de infinit în cunoașterea fizică. În același sens se poate cita și interpretarea pe care J. Merleau-Ponty o dă statutului epistemologic al principiului de covarianță (p. 190), acela de „lege transcendentă a intersubiectivității”. Atît legarea acestui principiu de ideea intersubiectivității cît și considerarea lui o idee transcendentă, pe motivul că „Einstein îl propune nu ca expresia unei proprietăți *an sich*, ci ca pe un postulat al teoriei fizice”, nu sînt întemeiate. Acest principiu face parte din clasa mai generală a formulelor „meta-nomologice” care exprimă trăsături sau exigențe ale legilor și ipotezelor generale ale unei teorii. Valoarea lui este în primul rînd euristică și normativă, reprezentînd, după cum spunea și Einstein, un „principiu de restricție pentru legile naturale”. Acest gen de principii sau legi este esențial pentru fizică. Ele nu se acceptă însă pe motive apriori (nici nu au vreo legătură cu „observatorii” sau „intersubiectivitatea”), ci pe aceleași temeiuri pe care se acceptă și celelalte legi ale fizicii: dacă sînt descriptive — prin verificare, dacă sînt prescriptive — prin fertilitate, operaționalitate, putere de unificare teoretică, consistență cu cadrul conceptual al științei etc. (M. Bunge). Toate aceste interpretări greșite nu diminuează însă esențial meritul incontestabil al lucrării sale, acela de a oferi un prim model de analiză epistemologică a situației conceptuale a cosmologiei contemporane. Evident, pentru întregirea acestei analize este necesară integrarea rezultatelor din ultimul deceniu ale astrofizicii și cosmogoniei, precum și a noilor modele sau idei cosmologice. Deși inevitabil incompletă, prin lucrarea lui J. Merleau-Ponty literatura asupra problemelor de cosmologie și de filozofia științei se îmbogățește cu o remarcabilă sinteză care sperăm că va influența ambele domenii de cercetare.

ILIE PĂRVU

CUPRINS

PARTEA ÎNȚI

ÎNTEMEIEREA COSMOLOGIEI MODERNE	9
---	---

CAPITOLUL I

Transfigurarea aparențelor cosmice în prima treime a secolului al XX-lea	11
--	----

CAPITOLUL II

Cosmologia relativistă. Etapele descoperirii	32
A. <i>Lucrarea Kosmologische Betrachtungen a lui Einstein și Universul cilindric.</i>	32
B. Sursele profunde ale cosmologiei secolului al XX-lea.	41
C. Deschiderea lui de Sitter : o nouă reprezentare a Universului.	48
D. Enigmele Universului lui de Sitter și învățămintele ce se pot trage din el.	52
E. Friedman : abandonarea Universului static.	62

CAPITOLUL III

Cosmologia relativistă : opțiuni teoretice concurente	68
A. Elementul liniar ds^2 al lui Robertson și ecuațiile lui Friedman. Necunoscutele cosmologiei relativiste.	69
B. Noua cosmologie a lui Einstein	78
C. Bazele filozofice ale cosmologiei, după abatele Georges Lemaitre.	85
D. Eddington și constanta cosmologică	91
E. R.C. Tolman : empirism și cosmologie.	95
F. Motivele și temele directoare ale unei noi cosmologii.	100

PARTEA A DOUA

TEORII COSMOLOGICE	103
------------------------------	-----

CAPITOLUL IV

Idel pentru o cosmologie nouă	105
---	-----

CAPITOLUL V

Cosmologia deductivă. Relativitatea cinematică	127
--	-----

A. <i>Teoria relativității cinematice</i>	127
I. Măsurarea timpului și conceptul de „echivalență”	131
II. Echivalența tridimensională și <i>substratum</i> -ul	136
III. Dinamica și legile de mișcare.	143
IV. Deducerea deplasării spre roșu a nebuloaselor	154
V. Modelul milnean și Universul astronomiei.	157
B. <i>Filozofia relativității cinematice</i>	160
I. Epistemologia și metafizica lui Milne	161
II. „Filozofia naturală” și „metoda epistemologică” ale lui G.J. Whitrow	169
III. Monadologie metafizică și monadologie matematică. Ego-ul și fizica.	178
IV. Măsurarea timpului ca primă operațiune metrică.	186
C. <i>Posibilitățile și limitele metodei deductive în cosmologie după H.P. Robertson</i>	196

CAPITOLUL VI

Cosmologia deductivă: teoria stării staționare	204
A. <i>Epistemologia teoriei stării staționare</i>	206
B. <i>Deducerea teoriei stării staționare</i>	212
C. <i>Limitele teoriei stării staționare</i>	225
D. <i>Teoria inerției a lui D.W. Sciama</i>	228
E. <i>Teoria stării staționare: versiunea nedeductivă a lui Fred Hoyle</i>	234

CAPITOLUL VII

Diferite alte teorii	245
A. <i>Variațiuni pe tema marelui număr — Eddington, Dirac și Jordan</i>	245
I. Eddington	246
II. Dirac	249
III. Pascal Jordan	255
B. <i>Abandonarea principiului cosmologic și a timpului cosmic. Universuri relativiste „în rotație”, anizotrope sau neomogene</i>	261
I. Universul „în rotație” al lui Gödel și călătoria în trecut.	264
II. Cosmologia relativistă după memoriile lui Gödel.	271
a. Mobilizarea fluidului cosmic. Universuri anizotrope.	274
b. Modele izotrope și neomogene. „Universul-rețea”	277

PARTEA A TREIA

TIMP ȘI COSMOGONIE	283
-------------------------------------	-----

CAPITOLUL VIII

Devenirea cosmică	285
A. <i>Ireversibilitatea fizică și cosmologia</i>	287

CUPRINS	533
B. Patru întrebări asupra devenirii cosmice.	294
C. Dialectica originii.	323
CAPITOLUL IX	
Teorii cosmogonice	334
A. Temele cosmogoniei moderne.	335
I. Declinul substanței și „creația“	335
II. Două teme cosmogonice: condensarea și explozia.	340
B. Teorii cosmogonice	344
I. Cosmogonia lui Lemaitre	344
II. Cosmogonia lui Gamow	354
III. Cosmogonia lui Hoyle: geneza obiectelor cosmice într-un spațiu-timp staționar	366
IV. Idelle cosmogonice ale lui Victor Ambartsumian	378
PARTEA A PATRA	
UNIVERSUL PENTRU OCHI ȘI UNIVERSUL PENTRU SPIRIT	387
CAPITOLUL X	
Cosmologia teoretică și Universul observat	389
A. Rezultatele astronomiei.	397
B. Radioastronomia.	404
CAPITOLUL XI	
Pe firul idellor și al evenimentelor	411
Anexă	435
I. Varietăți riemanniene. Tensori asociați acestor varietăți. Derivare covariantă. Tensor de curbura.	438
II. Teoria relativității restrinse.	444
III. Relativitatea generalizată.	448
IV. Elementul ds^2 al lui Robertson-Walker. Relații fundamentale ale cosmologiei robertsoniene.	451
V. Elementul ds^2 al lui Robertson în relativitatea generalizată. Ecuațiile lui Friedman.	458
VI. Modele robertsoniene.	462
VII. Cosmologie relativistă nerobertsoniană. Universuri „în rotație“ și „anizotrope“.	469
VIII. Cosmologie newtoniană.	474
IX. Relativitate cinematică	477
X. Hoyle-Dirac-Jordan	485

XI. Cîteva formule de astronomie și date numerice	490
Paradoxul lui Olbers	493
Diagrama lui Robertson	495
Figuri	497
Lucrări consultate.	503
Cosmologia invariantivă	513
Postfață	517

Redactor MARIA BORICEAN
Tehnoredactor CONSTANTIN IORDACHE
Coli de tipar 33,50
Tirajul 10700 ex. Bun de tipar: 19.XII.1978



c. 1606 - I.P. Informația, Str. Brezoianu,
Nr. 23-25 București
Republica Socialistă România

Volumul prezintă apariția și dezvoltarea ideilor cosmologice ale secolului nostru, începînd cu primele încercări ale lui Einstein și de Sitter și mergînd pînă la ultimele teorii, ale lui Hoyle și Narlikar. Sînt analizate pe larg legătura dintre dezvoltarea ideilor fizice, progresul observației astronomice rezultat în urma construirii unor instrumente optice gigant, și mersul logic, necesar, al gîndirii cosmologice din prima jumătate a secolului nostru.

Cartea se distinge printr-o expunere riguroasă, științifică a unor probleme considerate pînă nu de mult de domeniul speculației : originea Universului, proprietățile sale spațio-temporale, caracterul finit sau infinit al timpului în trecut ca și în viitor, reversibilitatea sau ireversibilitatea legilor fizicii, structura și evoluția materiei la scara cosmică etc.

Editura științifică și enciclopedică



Jacques Merleau-Ponty

**Cosmologia
secolului XX**

Lei 26